Moderne Trinkwasserreinigungsverfahren und ihre hygienische Bewertung

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

vorgelegt der

Hohen Medizinischen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg im Breisgau

von

Max Puffer aus Freiburg i. B.
approb. Zahnarzt

Buchdruckerei R. Rebholz, Freiburg im Breisgau 1935

Moderne Trinkwasserreinigungsverfahren und ihre hygienische Bewertung

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

vorgelegt der

Hohen Medizinischen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg im Breisgau

von

Max Puffer aus Freiburg i. B.
approb. Zahnarzt

Buchdruckerei R. Rebholz, Freiburg im Breisgau 1935

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Freiburg i. Br.

Referent: Prof. Dr. Nißle.

Dekan: Prof. Dr. Kapfhammer.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Meinen lieben Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545312_0126

Moderne Trinkwasserreinigungsverfahren und ihre hygienische Bewertung.

Die Deckung des Wasserbedarfs des Menschen muß aus den natürlichen Wasservorräten erfolgen, welche sich in Form von Grund- und Oberflächenwasser vorfinden. Ursprünglich benutzte man einzelne Brunnen, die in der Nachbarschaft der Siedelungen und Häuser niedergebracht waren, durch die Grundwasser für Trinkzwecke erschlossen wurde. Wohl instinktiv, und ohne es zu begreifen, haben schon unkultivierte Völker im Grundwasser das bessere Wasser gesehen, und sich nicht allgemein des Oberflächenwassers der Bäche und Flüsse bedient. Die alten Römer leiteten das Wasser in die Colonia Agrippina 80 km weit aus den Quellengebieten der Eifel her in mächtigen Wasserleitungen, die noch heute mit Recht unsere Bewunderung erregen. Bei der zunehmenden Dichte der Bevölkerung gelangten Abfallstoffe in den Boden und verseuchten ihn, so daß das Grundwasser in seiner Güte erheblich beeinflußt wurde. Man entschloß sich daher zur einheitlichen zentralen Wasserversorgung überzugehen, was vor etwa 90 Jahren in die Tat umgesetzt wurde. Diese Art der Wasserversorgung gründete sich nach dem englischen Vorbild, das für Deutschland früher ausschließlich in der Technik maßgebend war, auf das Oberflächenwasser. So erhielt unter anderem Hamburg im Jahre 1849 eine Wasserleitung, die nach englischem Vorbild mit filtriertem Flußwasser gespeist wurde. Im fließenden Wasser besaß man ja auch einen unerschöpflichen Vorrat, während man von der Ergiebigkeit der Grundwasservor-

räte nicht überzeugt war. Doch bald war man sich der hygienischen Nachteile dieser Versorgungsart wohl bewußt; das Auftreten von Cholera und Typhus zeigte eindringlich die Gefahren des Oberflächenwassers, das s. Zt. nur mangelhaft gefiltert wurde. Einige große sich wiederholende Epidemien brachten es mit sich, daß auch die Behörden der Wasserversorgung wieder vermehrte Aufmerksamkeit schenkten. Die erweiterten Kenntnisse der epidemiologischen Zusammenhänge halfen zusammen mit der fortgeschrittenen Technik der Wasserseuchen Herr zu werden. Diese einwandfrei erwiesenen Nachteile der Oberflächenwasserversorgung führten schließlich dazu, daß man ganz davon abkam. Um die Städte mit einwandfreiem Grundwasser zu versorgen, scheute man auch vor dem Bau langer Leitungen nicht zurück (45 km lange Leitung für München). Jahrzehnte lang sind keine Wasserversorgungsanlagen aus Flüssen und Seen geschaffen worden. Diese erfreuliche Richtung in der Wasserversorgung wurde unterbrochen, als um die Jahrhundertwende von Amerika aus mehrere Entkeimungsverfahren für Oberflächenwasser bekannt wurden — vor allem die Chlorung — welche aus Oberflächenwasser ein hygienisch einwandfreies Trinkwasser herzustellen gestatten sollten. Dazu kam der sich in den letzten Jahren überraschend schnell steigernde Wasserbedarf größerer Gemeinwesen wie der gesamten Industrie, der an vielen Orten zur Wasserknappheit infolge ungenügender Ergiebigkeit der Grundwasservorräte geführt hat. Demgegenüber ist es ein großer Vorzug der auf Oberflächenwasser fußenden Versorgung, daß sie das für die hygienischen Belange wie für die gesamte Industrie gleich unentbehrliche Element in fast unbegrenzter Menge liefern kann. So vollzieht sich in der Trinkwasserversorgung z. Zt. eine bemerkenswerte Umstellung, in dem die noch vor wenigen Jahren unbestrittene Vorherrschaft der Grundwasserversorgung vielfach durch die Oberflächenwasserversorgung verdrängt bezw. ersetzt zu werden beginnt.

Die große Bedeutung, die dem Wasser, als dem wichtigsten Nahrungsmittel des Menschen, zukommt, macht es erforderlich, daß es stets in genügender Menge und in hygienisch einwandfreiem Zustand zur Verfügung steht. Es wird sich daher zunächst die Frage aufwerfen: Was verlangen wir von einem hygienisch einwandfreien Trinkwasser?

Und als zweite Frage: Wie werden die modernen Trinkwasserreinigungsverfahren in ihren Resultaten diesen hygienischen Anforderungen gerecht?

Ad 1. Ein hygienisch einwandfreies Trinkwasser muß klar, farb- und geruchlos sein, guten Geschmack und angenehme Temperatur besitzen, darf keine giftigen Stoffe und keine Krankheitserreger enthalten und muß appetitlich sein.

Ad 2. Diese zweite Frage soll an Hand der bestehenden modernen Trinkwasserreinigungsverfahren untersucht werden.

Bei der Reinigung des Wassers unterscheidet man:

I. Reinigung und Verbesserung des Trinkwassers.

1. Die Ausscheidung der ungelösten Schwebestoffe einschließlich der an ihnen haftenden Bakterien.
2. Die Beseitigung gewisser wirklich oder kolloidal gelöster Stoffe.
3. Vernichtung verhandener lebender Organismen.

II. Desinfektion bezw. Sterilisation des Trinkwassers.

Das Absitzverfahren ohne Zusatz von Fällmitteln.

Das Oberflächenwasser insbesondere der natürlichen Flußläufe enthält meist grobe und feine Schwebestoffe, die teils anorganischer teils organischer Natur sind. Die Menge dieser Schwebestoffe schwankt oft sehr stark und

hängt vor allem von den Zuflüssen und der Geschwindigkeit des Flusses selbst ab. Das Flußwasser muß daher zunächst von den Schwebestoffen befreit werden, ehe man es für die Zwecke der Wasserversorgung verwenden kann. Bisweilen genügt es schon, das Flußwasser aus einer Bucht zu entnehmen oder seine Geschwindigkeit durch Aufstau zu mäßigen, um ein für die weitere Behandlung brauchbares Wasser zu erhalten; meistens aber muß man das Flußwasser vor seiner Verwendung oder Weiterbehandlung in Absitzbecken vorklären. Dieser Absitzvorgang spielt sich auch in der Natur in Seen und Teichen ab, so daß man dort oft ein fast dauernd reines und klares Wasser erhalten kann, das stellenweise ohne weitere Reinigung für Genußzwecke Verwendung findet. Absolute Garantien für einwandfreie Beschaffenheit bietet selbstverständlich ein derartiges Wasser nicht; ein Hinweis auf die Gefahren bedeutet das Beispiel der amerikanischen Stadt Chikago am Michigansee, wo infolge ganz ausnahmsweise durch besondere Witterungsverhältnisse verursachte Änderung der Strömungen im benachbarten See Abwässer in die Wasserleitung gelangten und ein Drittel der Bevölkerung an Typhus erkrankte. Aus derartigen Bedenken heraus hat u. a. die Stadt Zürich nachträglich eine Filteranlage für das bis dahin unfiltriert benutzte Seewasser geschaffen.

Da sich nun aber die Verhältnisse von solchen Seen auf das Klärbecken nicht übertragen lassen, darf man auch in einem Klärbecken keine vollständige Reinigung erwarten. Man benutzt daher das Absitzbecken auch nur als Vorklärung zur Befreiung des Wassers von dem größten Teil seiner gröberen Schwebestoffe und unterzieht es dann der weiteren Reinigung durch Filtration usw. Diese Vorklärung bringt vor allem auch für den nachfolgenden Filterbetrieb verschiedene Vorteile mit sich, da das vorgeklärte Wasser eine verminderte Belastung der Filter bedeutet und somit eine längere Betriebszeit der Filter gewährleistet. Haupt schlägt daher vor, daß man überall, wo es auch nur möglich sei, ein Reservebecken bezw.

einen Reserveteich für die Zeiten, wo der Fluß besonders getrübtes Wasser führt, einrichten sollte. Dieses Bekken wird dann am besten bei normaler Zeit als Durchflußbecken betrieben, während man in den Zeiten starker Trübung den Flußwasserzufluß absperrt und das nötige Rohwasser aus dem dann als Vorratsbehälter dienenden Becken entnimmt. Es besteht also somit die Möglichkeit, den Betrieb des Klärbeckens sowohl kontinuierlich als auch intermittierend zu gestalten. Im Absitzbecken können je nach Aufenthaltsdauer 60—70% der gröberen Schwebestoffe aus dem Rohwasser ausgeschieden werden.

Das Absitzverfahren mit Zusatz von Fällmitteln.

Oft spielen sich in den Klärbecken neben den rein mechanischen auch biologische Reinigungsvorgänge ab, vor allem, wenn das Wasser längere Zeit darin verbleibt. Bei diesem Reinigungsvorgang, der sogenannten Selbstreinigung, d. h. des Absterbens von Bakterien in fließenden und stehenden Gewässern, spielt der Einfluß der Protozoen auf die Bakterien, wie Kyriasides durch seine Versuche nachweisen konnte, eine große Rolle. Neben den Protozoen muß als weiterer Faktor bei der Selbstreinigung noch die Tätigkeit der Bakteriophagen erwähnt werden. Allerdings dürfte den Bakteriophagen nach den Versuchen von Flu nur eine untergeordnete Bedeutung zugeschrieben werden. Auch nach seiner Meinung sind hauptsächlich die Protozoen für die Selbstreinigung verantwortlich zu machen.

So wünschenswert diese Tätigkeit der Protozoen zunächst erscheint, so unberechenbar ist sie aber auch in ihren Nebenwirkungen und daher von vornherein zu unterdrücken. Die Protozoen, meist Algen und Diatomen, verleihen oft dem Wasser durch ihre Stoffwechselprodukte und Abbaustoffe beim Zerfall einen fischigen, modrigen oder sonst unangenehmen Geruch und Geschmack, so daß das Wasser für Trinkzwecke unverwendbar wird. Dazu

kann ihr Auftreten in großen Mengen ein Filter vollständig unbrauchbar machen, da sich an der Filteroberfläche eine völlig undurchlässige Schicht bildet, wie es Billings an einigen amerikanischen Schnellfiltern beobachten konnte. Somit muß also das Protozoenwachstum als eine biologische Störung des Filterbetriebs angesehen werden und ist daher nach Möglichkeit auszuschalten. Als Schutzmittel wird allgemein Kupfersulfat angegeben, welches in Mengen von 5—10 mg m^3 Rohwasser beigegeben wird und im Einzelfall genau durch Versuch bestimmt werden muß. Groß, Keim und Billings empfehlen auch noch Chlor, Tonerdesulfat und Kalk zur Vernichtung der Protozoen.

Die Teilchengröße der in einem Flußwasser mitgeführten Schwebestoffe (namentlich der von feinst verteiltem Ton, von Kalkschlamm oder organischer Suspensa) ist nicht selten so klein, daß nicht einmal durch die auf den Absitzvorgang folgende Filtration eine ausreichende Klärung des Wassers erzielt werden kann. In solchen Fällen würde die Filterhaut vorzeitig durch die feinen Schwebestoffe verstopft werden, ja mit der Zeit würden die Schmutzteile auch in die Filterporen eindringen und das Filter unbrauchbar machen. Man hilft sich in diesem Fall stets durch Zusatz fällender Chemikalien. Hierdurch bringt man nicht nur die feinsten Suspensa, sondern zum Teil auch die Kolloide von suspensoidem Typ zur Ausflockung. Zu diesen Kolloiden, die hauptsächlich im Flußwasser vorkommen, gehören u. a. organische Substanzen und Eisenoxydhydrat, also Stoffe, die dem Wasser eine mehr oder weniger starke Trübung oder Färbung verleihen. Fällmittel dienen daher auch zur Entfärbung des Wassers durch Ausflockung der kolloidal gelösten Farbstoffe. Bei manchen Wässern wird sogar das Absetzen von Farbstoffen und kleinster Teilchen praktisch erst durch die Verwendung fällender Chemikalien möglich. Als Ausflokkungsmittel dient zumeist Aluminiumsulfat, in der Technik auch Filteralaun genannt, das aus neutralem und ba-

sischem Aluminiumsulfat zu etwa gleichen Teilen besteht und möglichst frei von Arsen, Mangan und Eisen sein muß. Das technische Aluminiumsulfat, das man meist durch Einwirkung von Schwefelsäure (H_2SO_4) auf Bauxit ($Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) erhält, weist folgende Zusammensetzung auf:

$$2\,Al_2(SO_4)_3 \cdot Al_2(SO_4)_2\,(OH)_2$$

Alaun bildet mit fast in jedem Wasser vorhandenem kohlensaurem Kalk Gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) und Aluminiumhydroxyd ($Al(OH)_3$), das letztere fällt als koaguliertes Tonerdehydrat in Flocken aus. Die Umsetzung erfolgt nach folgender Formel: $Al_2(SO_4)_3 + 3\,CaCO_3 + 3\,H_2O = 2\,Al(OH)_3 + 3\,CaSO_4 + 3\,CO_2$.

Die Verwendung des Aluminiumsulfats als Zusatz zum Rohwasser erscheint hygienisch völlig unbedenklich, falls ein reines Präparat benützt wird, finden sich doch Tonerdeverbindungen in natürlichen Wässern sehr verbreitet. Das in das Rohwasser künstlich eingeführte Aluminium wird bei der Koagulation völlig ausgeschieden, und die an seiner Stelle sich bildenden geringen Gipsmengen (Steigerung der permanenten Härte) dürften hygienisch auch nicht zu beanstanden sein. Es darf nur nicht so viel Aluminiumsulfat beigesetzt werden, daß aus Mangel an Kalk sich im Wasser freie Schwefelsäure anhäuft.

Um auch bei weichem, wenig Karbonate enthaltendem Wasser eine genügende Flockenbildung zu erzielen, und um zu verhindern, daß unzerlegtes Aluminiumsulfat in dem behandelten Wasser zurückbleibt, muß dem Rohwasser vorher Kalk oder Soda zugesetzt werden. Durch die Beigabe der Aluminiumsalze zu alkalischem oder mit Hilfe von Kalkhydrat oder Soda alkalisch gemachtem Wasser bilden sich zunächst winzige Flöckchen, wobei trübende und kolloidale Bestandteile eingehüllt und mitgerissen werden, in dem sich zugleich die kleinsten Flokken zu größeren zusammenballen. Diese Flocken kann man, wie Haupt sagt, als ein „gelatinöses Netzwerk" oder als ein poröses schwammähnliches Gebilde ansehen, we-

nigstens erinnert das Aussehen des sich absetzenden Niederschlags an einen großen Schwamm. Seine Eigentümlichkeit Kolloide und Halbkolloide mitzureißen wird von mancher Seite durch die große Oberfläche, die solchen schwammartigen Gebilden eigen ist, erklärt.

Die Zusatzmenge, die je nach der Beschaffenheit des Rohwassers, seiner Temperatur, seinem Gehalt an organischen Substanzen und der Einwirkungszeit verschieden ist, schwankt gewöhnlich zwischen 10—15 gr/m³ Rohwasser. Die zweckmäßige Zusatzmenge ist im Einzelfall durch Versuch zu ermitteln. Dabei ist die Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration im Wasser vor und nach der Koagulation nicht nur für die erforderliche Fällmittelmenge, sondern auch für die Frage des etwaigen Zusatzes von Kalk oder Soda unumgänglich. Da sich durch den Aluminiumsulfatsatz der p_H-Wert des Wassers erniedrigt (Zunahme der agressiven Kohlensäure), und die Nichtkarbonate erhöht werden, ist eine dauernde chemische Kontrolle des Fällungsvorganges und der Filtrate zum Schutz des Rohrnetzes unbedingt notwendig. Bis vor kurzer Zeit glaubte man, daß die Ausflockung lediglich mit der Bildung von Aluminiumhydroxyd zusammenhinge, das beim Hinzufügen von Aluminiumsulfat zu alkalisiertem Oberflächenwasser entsteht; heute wissen wir, daß die Fällung ganz und gar vom p_H-Wert des betr. Wassers abhängt, und zwar derart, daß in sauren Wassern die Flocken wahrscheinlich zumeist aus der Verbindung $5\,Al_2O_3\,3SO_3$ bestehen, während bei einem p_H-Wert von mehr als 8 mehr oder weniger $Al(OH)_3$ gebildet wird. Die Klärung dieser Zusammenhänge verdanken wir vor allem den Amerikanern, die sich auf Grund ihrer ungünstigen Grundwasserverhältnisse und des dauernd steigenden Wasserbedarfs viel früher der Wasseraufbereitung aus Oberflächenwasser zuwandten, als es in Europa der Fall war. Nach der Erkenntnis dieser Zusammenhänge warf sich daher die Frage auf, welches wohl die günstigsten Bedingungen für die Ausflockungen seien sowohl in hy-

gienischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht, oder unter welchen Bedingungen erhält man bei geringst möglichen Chemikalienzusätzen den bestmöglichen Reinigungseffekt. Diese Frage ist dann von vielen Forschern untersucht worden, so u.a. von J.R. Baylis, Clark und Theriault, W.D. Hatfield und von D.B. Miller und vielen anderen. Man ist sich heute darüber einig, daß die beste Ausflockung für gewöhnlich bei einem p_H-Wert von 5,3 bis 5,4, also einem leicht angesäuertem Wasser liegt. Das gilt aber nur für weiche und salzarme Wasser und für entsprechend geringe Aluminiumbeigaben. Es ist daher notwendig von Fall zu Fall das Wasser auf seinen p_H-Wert wie auf die in ihm gelösten Salze zu prüfen, und wenn möglich, so schlägt Haupt vor, eine Versuchsanlage planmäßig zu betreiben, welche die späteren Verhältnisse der Praxis wiederspiegelt und alle in Betracht kommenden Verhältnisse im einzelnen überprüft, vor allem, was den Chemikalienzusatz betrifft.

Nach dem Alaunzusatz soll das Wasser zunächst kurze Zeit in starker Bewegung bleiben, um eine gute Durchmischung des Fällmittels mit dem zu behandelnden Wasser zu erzielen. Es muß zu diesem Zweck das zugesetzte Alaun etwa 20—30 Minuten in Reaktionskammern auf das Wasser einwirken. Je intensiver die Mischung erfolgt, um so weniger Chemikalien werden verbraucht. Haupt schlägt daher die fortgesetzte mechanische Bewegung des Wassers mittels eines maschinell betätigten Rührwerks vor. Er konnte dann an Hand eingehender Versuche feststellen, daß durch das Rühren eine 30—50%ige Verkürzung der nachfolgenden Absitzdauer erreicht wird, was eine beträchtliche Beschleunigung des Reinigungsvorganges bedeutet. Noch bedeutsamer ist aber der in den meisten Fällen erzielte größere Reinigungserfolg, der offenbar auf die bessere Flockenbildung zurückzuführen ist. So konnte ebenfalls von Haupt nachgewiesen werden, daß die organischen Stoffe des Rohwassers (gemessen an dem Permanganatverbrauch) in der Mehrzahl der Fälle voll-

ständiger aus dem verunreinigten Rohwasser ausgeschieden wurden, wenn während des Aluminiumsulfatzusatzes das Wasser kräftig gerührt wurde. Diese Versuchsergebnisse fanden noch ihre Bestätigung durch die Amerikaner Cox und Streeter, die an Versuchsanlagen im großen zu denselben Resultaten kamen. Auch sie betonen die Wichtigkeit einer gründlichen Durchmischung des Fällmittels mit dem Rohwasser. Sie gingen noch weiter wie Haupt und variierten die Geschwindigkeit, mit der das Wasser bewegt wurde. Hierbei kamen sie zu dem Ergebnis, daß die Geschwindigkeit nie so weit getrieben werden darf, daß die anfänglich gebildeten Flocken zerstört werden, andererseits aber groß genug sein muß, um die Flokken in Suspension zu halten.

Der guten Mischung mit dem Niederschlagsmittel folgt das Absitzenlassen des gebildeten Niederschlags in Niederschlagsbecken oder Koagulationsbehältern. Die Frage nach der Aufenthaltsdauer im Niederschlagsbecken wird von den Autoren ganz verschieden beantwortet und hängt vor allem von dem weiteren Reinigungsvorgang ab, dem das Wasser nach der Koagulation unterzogen wird, soll aber im Mittel 2—6 Stunden betragen. Eine längere Ruhezeit erhöht naturgemäß den Prozentsatz der Ausscheidungen und ist bei stark gefärbtem und kaltem Wasser notwendig. Bei nachfolgender Reinigung in Schnellfiltern darf die Ausscheidung in den Niederschlagsbehältern nicht so weit getrieben werden, wie bei nachfolgender langsamer Sandfiltration, damit die zur Bildung einer Filterhaut notwendigen Kolloide nicht fehlen.

Für besonders schwierige Fälle hat Streeter die doppelte Fällung vorgeschlagen, deren Ergebnisse dahin zusammenzufassen sind, daß in manchen Fällen die Permanganatzahl durch dieses Verfahren noch um 30% erniedrigt werden kann. Allerdings kommt dieses Verfahren nur in Ausnahmefällen praktisch in Betracht, wenn es sich um besondere auf anderem Wege nur schwer ausscheidbare Verunreinigungen handelt. Zumeist stehen

die hohen Kosten dieses Verfahrens in einem Mißverhältnis zu der verlangten bisweilen nur verhältnismäßig geringen Verbesserung des Klärerfolges.

Ein zweites nur weniger gebräuchliches Fällmittel ist Eisensulfat. Bei seiner Verwendung sind dem Rohwasser vorher stets Kalk und andere Alkalien zuzusetzen. Es bildet sich durch die Umsetzung Eisenhydroxyd, eine dem Aluminiumhydroxyd bezüglich Wirkung ähnlich flockige und kolloidale Masse. Die optimale Zusatzmenge wird nach den gleichen Gesichtspunkten bestimmt wie beim Alaunverfahren.

Clark untersuchte nun den Reinigungseffekt, den man mit der Alaunfällungsmethode erreichen kann und fand, daß ungefähr 60—90% der vorhandenen Schwebestoffe durch den Fällungsprozeß zurückgehalten werden. Mit den Schwebestoffen wird naturgemäß auch ein großer Teil der Bakterien niedergeschlagen. Das nach diesem Fällungsprozeß gewonnene Wasser kann also in keiner Hinsicht als ein einwandfreies Trinkwasser angesprochen werden, und muß noch einem weiteren Reinigungsvorgang unterworfen werden, um den an ein Trinkwasser gestellten Anforderungen gerecht werden zu können.

Die langsame Sandfiltration.

Die ersten Sandfilter zur Reinigung des Wassers wurden in London im Jahre 1829 von James Simpson errichtet, um sein Aussehen und seinen Geruch zu verbessern. Dieser Zweck blieb ungefähr 50 Jahre der gleiche, auch bei den Wasserwerken, die in europäischen Städten gebaut wurden. Mitte der 80er Jahre wurde auf Grund der fortgeschrittenen Erkenntnis der Infektionskrankheiten die bakteriologische Wasseruntersuchung eingeführt. Zu jener Zeit wurde gerade Amerika von einer schweren Typhusepidemie heimgesucht. Es machte daher großen Eindruck, als 1893 die Stadt Lawrence in Massachusetts ihr stark verunreinigtes Wasser durch Sand-

filter reinigte, und damit großen Erfolg gegen Typhus hatte.

Grundlegend für die Erklärung der Sandfilterwirkung sind die Versuche Piefkes geworden, der zuerst in Deutschland die bakteriologischen Forschungen in systematischer Weise zum Studium der Filtrationsvorgänge benutzte. Der Vorgang bei der „Langsamen Sandfiltration" besteht im wesentlichen darin, daß das Rohwasser eine Sandschicht von gewisser Mächtigkeit durchläuft, wobei nicht nur die ihm mechanisch anhaftenden Verunreinigungen, sondern auch die im Rohwasser enthaltenen Keime zurückgehalten werden. Es handelt sich dabei also um eine rein mechanische Siebwirkung und um eine bakteriologische Wirkung. Die letztere ist die wichtigere von beiden und beruht zum Teil wiederum auf mechanischen, zum Teil auf biologischen Vorgängen. Der Sand, der in einer Korngröße von 0,5—1 mm Stärke verwendet wird, hat an sich den Bakterien gegenüber keine oder nur sehr geringe Filterwirkung, da die zwischen den einzelnen Sandkörnern sich befindlichen Poren ungleich viel größer sind als die Bakterien, die zurückgehalten werden sollen. Bei der „Langsamen Sandfiltration" hat vielmehr, nach der Ansicht von Bruns, der Sand die Rolle einer Stützschicht, für die auf der Oberfläche sich ansammelnde Filterschicht, in der im wesentlichen, infolge der Verringerung der Porengröße, einmal die mechanische Zurückhaltung der mit dem Rohwasser eingebrachten Keime, dann aber besonders ihre Vernichtung durch die in der Filterschicht ebenfalls zurückgehaltenen höher organisierten Planktonorganismen, Algen, Ciliaten, Flagellaten usw. gegebenenfalls auch durch Bakteriophagen vor sich geht.

Mehrere Forscher bemühten sich nun die näheren biologischen Vorgänge, die sich in der Filterschicht abspielen, zu ergründen, was allerdings bis heute noch nicht restlos gelungen ist. Groß und Dornedden versuchen die biologische Wirkung vor allem auf Grund der antago-

nistischen Wirkung verschiedener Bakterienarten, und von Algen und niederen Tieren einerseits und Bakterien anderseits zu erklären. Andere Autoren betonen wieder stärker die oxydativen Prozesse, die sich in den Filtern abspielen, und versuchen so das Absterben der Bakterien zu erklären, denn es ist Tatsache, daß organische Stoffe beim Durchgang durch das Sandfilter oxydiert werden, und freies Amoniak in Nitrate umgewandelt wird. Es findet also ein starker Sauerstoffverbrauch in den Filtern statt. John Baylis untersuchte nun einzelne Sandkörnchen eines eingearbeiteten Sandfilters und fand, daß die Sandkörnchen nahe der Oberfläche mit einer gallertigen Hülle überzogen waren. Die nähere Untersuchung dieser gallertigen Hülle ergab dann, daß sich Fadenbakterien, Crenothrix u. a. darin befanden. Diese neuesten Untersuchungsergebnisse von Baylis decken sich damit genau mit der Ansicht von Bruns, denn durch den gallertigen Überzug der Sandkörnchen wird das Porenvolumen der obersten Sandschicht außerordentlich verringert, und dadurch die mechanische aber auch gleichzeitig wohl die biologische Wirkung des Filters bewirkt.

Daß die Hauptfilterkraft der Filterhaut zuzusprechen ist, war nicht sehr schwer zu beweisen, denn es zeigte sich, daß der Filtrationseffekt an „Langsamen Sandfiltern“ zunächst ein sehr mangelhafter war. Nach einiger Zeit jedoch, in welcher sich nämlich die Filterhaut gebildet hatte, war der Filtrationseffekt, gemessen an der Keimzahl, ein recht guter. Nach Ausbildung der Filterhaut ist das Filter „eingearbeitet“ und liefert nun zufriedenstellende Resultate. Da nun der ganze Erfolg der Filtration von der Funktionstüchtigkeit der Filterhaut abhängig ist, muß die größte Sorgfalt auf ihre Bildung und ihr Weiterbestehen gelegt werden, und damit sind dieser ganzen Reinigungsmethode die Grenzen gesetzt. Diese Grenzen liegen vor allem in der Qualität des Wassers und in der Filtergeschwindigkeit begründet. Ein zu stark verunreinig-

tes Wasser wird die Filterhaut sehr schnell verstopfen, und die Durchlässigkeit des Filters nimmt rasch ab. Eine zu hohe Filtergeschwindigkeit (hoher Wasserdruck) wird leicht zur Verletzung der Filterhaut führen und damit den ganzen Filtrationserfolg in Frage stellen. Dieser letzten Eigenschaft wegen wird diese Methode auch die „Langsame Sandfiltration" genannt im Gegensatz zur „Schnellfiltration", wo man mit bedeutend höheren Filtrationsgeschwindigkeiten arbeitet.

Sobald die Ergiebigkeit des Filters nachläßt, muß das Filter ausgeschaltet und gereinigt werden, indem die oberste Sandschicht abgetragen und eine neue Filtrationsperiode eingeleitet wird. Sonstige bauliche und technische Neuerungen an Sandfiltern bleiben in dieser Arbeit unerwähnt, da sie ja prinzipiell den Reinigungsvorgang nicht beeinflussen.

Nach obigen Ausführungen können also nur verhältnismäßig reine Wässer, d. h. mit wenig Schwebestoffen beladene Wässer, wie z. B. sehr reines Gebirgswasser, Talsperrenwasser oder aus größerer Tiefe entnommenes Wasser von Landseen durch die „Langsame Sandfiltration" erfolgreich gereinigt werden. Sehr stark verunreinigte Wässer müssen immer einer Vorreinigung unterzogen werden. Von sehr viel größerem Interesse ist dagegen der bakteriologische Reinigungseffekt bei der „Langsamen Sandfiltration". Wie bereits oben erwähnt, gelingt es, mit der „Langsamen Sandfiltration" Keime zurückzuhalten, es gelingt jedoch nicht, alle Keime zurückzuhalten, selbst bei besteingearbeiteten Filtern nicht. Fränkel und Kabrhel konnten sogar feststellen, daß der Keimgehalt des Filtrats in einem Abhängigkeitsverhältnis zu dem Keimgehalt des Rohwassers steht. Gonzenbach kam auf Grund seiner Beobachtung zu dem Resultat, daß der Keimgehalt des Rohwassers bis auf 10% und mehr durch gut eingearbeitete „Langsame Sandfilter" beseitigt werden könnte.

Das Bestreben, die hygienische Eignung des Filtrats an dem Keimgehalt (bezw. Keimfreiheit) ablesen zu wollen, scheitert damit an der Unzulänglichkeit der Filteranlagen selbst, mit denen es also nicht gelingt ein keimfreies Wasser zu erhalten. In der Praxis machte man daher Zugeständnisse und zwar derart, daß man einen gewissen absoluten Maximalgehalt an Bakterien im Filtrat der künstlichen Sandfilter duldete. Diese Grenzzahl, die zwar willkürlich festgesetzt wurde, sich aber in der Praxis bewährt haben soll, beträgt 100 Keime pro cm^3 Filtrat. Leider haftet der für diese Bestimmung allgemein benutzten Technik der Nachteil an, daß sie mehrere Tage beansprucht, ein warnendes Ergebnis unter Umständen also viel zu spät kommen kann. Die hygienische Beurteilung eines Filtrats nach seinem Gehalt an Keimen ist bereits alt; heute geht der Streit mehr um die Art als um die Zahl der gefundenen Bakterien, indem der Befund von bacterium coli, als Indikator fäkalhaltiger Zuflüsse, zum Kriterium für eine genügende oder ungenügende Filterwirkung benutzt wird. Der Beurteilung des Filtrats auf dieser Grundlage stehen allerdings heute noch große bakteriologische Schwierigkeiten im Wege, da es nicht gelingt einigermaßen sicher den typischen Colibazillus der Warmblütler von den vielen atypischen Colistämmen zu trennen.

Die Schnellfiltration.

Während bei der „Langsamen Sandfiltration“ die biologischen Reinigungsvorgänge im Vordergrund stehen, stellt die „Schnellfiltration“ im Gegensatz dazu mehr ein mechanisches Reinigungsverfahren dar. Hierbei will man lediglich auf mechanischem Wege die, im Wasser enthaltenen, Schwebestoffe abfiltrieren, und verzichtet bewußt auf einen ähnlichen bakteriologischen Reinigungserfolg, wie bei der „Langsamen Sandfiltration“.

Es waren vor allem die Amerikaner, die verschiedener Nachteile der „Langsamen Sandfiltration“ wegen, von die-

ser älteren Art der Filtration abkamen, und die Schnellfiltration entwickelten und ausbauten. Die Nachteile der „Langsamen Sandfiltration“ sind großer Platzbedarf, hohe Anlage- und Betriebskosten und dabei noch geringe Ergiebigkeit wegen der geringen Filtergeschwindigkeit. Ausserdem noch der Nachteil, daß sich das keimarme Wasser erst nach sehr langer Zeit einstellt. Es lag nun daher der Gedanke nahe, die sich langsam bildende Filterhaut durch Kunstgriffe in ihrer Bildung zu beschleunigen, was auch in der Tat durch Zusatz von schwefelsaurer Tonerde zum Rohwasser gelang. Auf diese Weise konnten viele der oben genannten Nachteile der „Langsamen Sandfiltration“ bei dem neuen Reinigungsverfahren ausgeschaltet werden. Und gerade diese verschiedenartige Bildung der Filterhaut und ihre Folgen stellen eigentlich den Hauptunterschied zwischen den beiden künstlichen Filtrationsverfahren dar. Abgesehen von dem Filtermaterial, das gewöhnlich bei Schnellfiltern etwas gröber gewählt wird und von der bedeutend größeren Filtergeschwindigkeit, wird auch auf die Ausbildung der Filterhaut nicht der Wert gelegt wie bei der „Langsamen Sandfiltration“, denn eine Filterhaut in jenem Sinne würde nur die Geschwindigkeit des Filtrationsprozesses ungünstig beeinflussen. Die Filterhaut wird rasch gebildet durch ein dem Rohwasser zugesetztes Fällmittel im Gegensatz zur „Langsamen Sandfiltration“, wo sich die Filterhaut ganz allmählich und langsam durch die Ablagerung eines tonigen oder organischen Schlammes auf der Sandoberfläche bildet. Auch die Filterreinigung ist bedeutend vereinfacht worden. Die Reinigung erfolgt durch Rückwärtsspülung in der Weise, daß das Spülwasser den Sand von unten nach oben durchströmt, wobei die an den Sandkörnern haftenden Verunreinigungen mitgerissen werden und genügend hoch über der Sandoberfläche in eine Überfallrinne treten. Die Reinigungswirkung des Spülwassers wird dadurch noch erhöht, daß der Sand während der Spülung durch Rührwerke gelockert, oder, daß gleichzeitig mit dem Spülwasser gepreßte Luft durch

den Sand hindurch geführt wird. Die ganze Filterreinigung beansprucht nur wenige Minuten.

Entsprechend diesen Besonderheiten des Schnellfilters ist auch seine Anwendung und sein Reinigungseffekt ein ganz anderer als bei der „Langsamen Sandfiltration". So eignet sich besonders die Schnellfiltration bei vorheriger Behandlung des Rohwassers mit Fällmitteln zur Ausbildung der künstlichen Filterhaut und bei stark wechselnder Rohwasserbeschaffenheit. Aber auch als Entfärbungs- und Schönungsfilter kann es mit besserem Erfolg eingesetzt werden als ein „Langsames Sandfilter", wie verschiedene amerikanische Autoren auf Grund ihrer Erfahrungen berichten. Diesen Vorteilen der Schnellfiltern steht aber der große Nachteil gegenüber, daß der Filtrationseffekt in bakteriologischer Hinsicht ein höchst mäßiger ist. Nach den neuesten Angaben von Bruns ist die bakteriologische Wirkung bei Schnellfiltern im allgemeinen 10:1, während der Filtrationseffekt bei langsamen Sandfiltern etwa zwischen 1000:1 und 10000:1 schwanken dürfte. D. h. bei den Schnellfiltern geht durchschnittlich etwa auf 10 im Rohwasser vorhandene Keime mindestens 1 Keim in das Filtrat über, während bei „Langsamen Sandfiltern" nach der Einarbeitung höchstens auf 1000 bis 10000 im Wasser vorhandene Keime je 1 Keim im Filtrat nachgewiesen werden kann. Da nun aber gerade durch Schnellfilter oft sehr stark verschmutzte Oberflächenwasser gereinigt werden sollen, deren Reinheit in bakteriologischer Hinsicht oft starken Schwankungen ausgesetzt ist, muß der Schnellfiltration unbedingt noch die Entkeimung des Wassers folgen, wodurch natürlich, vom Gesichtspunkt der Gesamtreinigung aus betrachtet, ein weiterer Arbeitsgang eingeschaltet wird, und damit das ganze Verfahren noch komplizierter gestaltet wird.

II. Entkeimen des Wassers.

A. Die physikalischen Entkeimungsmethoden.

Da es nach den bisher beschriebenen Methoden nur unvollkommen möglich ist, ein keimfreies Wasser zu erhalten, hat man sich schon frühzeitig mit der Vernichtung der Bakterien im Wasser sowohl auf physikalischem als auch auf chemischem Wege beschäftigt. Von den physikalischen Methoden sind besonders das Abkochen, die Benützung bakteriendichter Filter und die Bestrahlung mit ultravioletten Strahlen zu nennen.

Das Abkochen des Wassers stellt zweifellos für die Wasserversorgung im kleinen stets die beste Methode der Sterilisation dar, da die für den Menschen gewöhnlich in Betracht kommenden Krankheitserreger auf diesem Wege sicher abgetötet werden. Zur vorübergehenden oder gar dauernden Entkeimung größerer Wassermengen ist das Abkochen nicht geeignet, weil es große Koch- und Kühlapparate erfordern würde und wegen des großen Brennstoffverbrauchs ein zu unwirtschaftliches Verfahren wäre. Dazu leidet der Genußwert des Wassers durch Abkochen ganz beträchtlich.

Da es mit dem Sand als Filtermaterial nicht gelingt ein bakterienfreies Filtrat zu erhalten, lag der Gedanke nahe, Filtermaterialien zu verwenden, die vermöge ihrer Feinporigkeit im Stande sind, Bakterien vollständig zurückzuhalten. Für diesen Zweck erwiesen sich vor allem Ton, Porzellanerde und Kieselgur als besonders geeignet. Im großen vermochten diese Filtermaterialien jedoch den Sand nicht zu verdrängen, da ihnen verschiedene Mängel anhaften. Der Hauptgrund, warum alle diese Filtermaterialien zur bakteriologischen Trinkwasserreinigung für gewöhnliche Verhältnisse nicht empfohlen werden können, liegt darin, daß auch die besten Filter nur eine beschränkte Zeit hindurch bakteriendicht arbeiten. Sie fanden deswe-

gen bisher auch nur bei Klein- u. Hausfiltern Anwendung, wo sie einer entsprechend geringeren Belastung ausgesetzt sind. Nach neueren Untersuchungen von Bechhold wachsen selbst durch die besten bakteriendichten Filter aus Kieselgur und poröser Porzellanerde nach drei bis fünf Tagen die Keime durch.

Die französischen Gelehrten Courmont u. Nogier waren die ersten, welche die bakteriziden Eigenschaften der ultravioletten Strahlen erkannten und zur Sterilisation des Wassers verwendeten. Sie fanden, daß Wasser, welches man 1—2 Minuten der Bestrahlung mit ultravioletten Licht ausgesetzt hatte, völlig keimfrei machen konnte, wenn das Wasser nicht trüb war, und die einzelnen Teilchen nicht weiter als 30 cm von der Lampe entfernt von den Strahlen getroffen wurden. Die Versuche der französischen Gelehrten sind auch in neuester Zeit wieder mehrfach nachgeprüft worden, so u. a. von John Norton, F. Diénert und G. Perkins. Sie stellten fest, daß volkommene Sterilität nur dann erreicht wird, wenn das Wasser in dünner Schicht bei geringer Durchflußgeschwindigkeit, also bei entsprechend langer Bestrahlung mit ultravioletten Licht ausgesetzt wird. Dabei ist noch Voraussetzung, daß das Wasser frei von organischen oder sonstigen trübenden Substanzen ist, da derartige Schwebestoffe das Durchdringungsvermögen der ultravioletten Strahlen stark herabsetzen und somit den ganzen bakteriziden Erfolg in Frage stellen. Eine weitere Schwierigkeit liegt noch in den das ultraviolette Licht spendenden Lampen, da man sehr bald erkennen mußte, daß sie in ihrer Leistungsfähigkeit rasch nachlassen. Nach den bisher vorliegenden Untersuchungen ist daher das Verfahren der Sterilisation durch ultraviolette Strahlen für die Praxis reichlich unsicher und noch nicht sehr weit über die Laboratoriumsversuche hinaus gediehen. Die bis heute gesammelten Erfahrungen zeigen, daß sich das Verfahren der Keimtötung mit ultravioletten Strahlen für größere Wassermengen nicht eignet, zumal man auch zuverlässi-

gere und billigere chemische Mittel gefunden hat, um ein Wasser praktisch keimfrei zu machen.

B. Die chemischen Entkeimungsmethoden.

In sehr viel größerem Maße als man die physikalischen Methoden zur Keimfreimachung benutzte, wurden die chemischen Mittel dazu herangezogen. Die Zahl der zu diesem Zwecke empfohlenen chemischen Mittel ist heute bereits sehr groß. Allerdings haben von diesen vielen chemischen Mitteln zur Sterilisation des Wassers nur Ozon und Chlor größere Bedeutung in der Praxis erlangt, während viele andere nur ausgezeichnete Laboratoriumsergebnisse zeitigten, in der Praxis aber meist die in das Mittel gesetzten Erwartungen nicht erfüllten.

Das Ozon, der dreiatomige Sauerstoff (O_3), hat die Eigenschaft, in Berührung mit oxydierbaren Substanzen ein Atom Sauerstoff abzugeben, und dabei wieder in den gewöhnlichen zweiatomigen inaktiven Sauerstoff überzugehen (O_2). Ozon ist ein sehr energisch wirkendes Oxydationsmittel, das gegenüber anderen zur Wassersterilisation herangezogenen Oxydationsmitteln wie Kaliumpermanganat, Halogenen, Hypochloriten, Kupferverbindungen und Chlorgas den großen Vorteil hat, nach seiner Einwirkung keine störenden Salze oder andere unangenehme Rückstände zurückzulassen, sondern nur gasförmigen Sauerstoff.

Ohlmüller prüft als erster die Einwirkung ozonhaltiger Luft auf Bakterien in wässrigen Flüssigkeiten und fand, daß das Ozon auf Bakterien, welche im Wasser aufgeschwemmt sind, in kräftiger Weise zerstörend einwirkt, unter der Bedingung, daß das Wasser nicht zu stark mit lebloser organischer Substanz verunreinigt ist. Nachdem die organischen Substanzen des Rohwassers meist durch Schnellfilter mit vorangegangener Aluminiumsulfatbehandlung beseitigt worden sind, wird das Wasser in die Sterilisationstürme des Ozonwerkes geleitet, wo es in innige Berührung und Reaktion mit dem Ozon gebracht wird.

Aus den Sterilisationstürmen gelangt das Wasser über Entlüftungskaskaden in den Reinwasserbehälter. Notwendig ist jedoch, daß soviel Ozon zugesetzt wird, daß das Wasser beim Verlassen der Reaktionstürme noch deutliche Ozonreaktion (freies Ozon) zeigt, die bei Zusatz von Jodkali-Stärkelösung durch Blaufärbung angezeigt wird.

Ohlmüller und Prall befaßten sich nun näher mit dem Sterilisationseffekt des Ozonverfahrens und fanden, daß man unter Beachtung der bereits oben angeführten Bedingungen ein praktisch keimfreies Wasser erhalten kann. Sie prüften auch speziell die Ozonwirkung auf Choleravibrionen, Typhusbazillen und Bacterium Coli und kamen zu demselben Ergebnis, denn in dem ozonisierten Wasser ließen sich diese genannten pathogenen Keime nicht mehr nachweisen. Auf Grund dieser ausgezeichneten Untersuchungsergebnisse kann man das Ozonverfahren bei richtiger Anwendung als ein sicheres Wassersterilisierungsmittel ansehen, was sich auch in der Praxis seit einigen Jahren bereits bewährt hat. Nur rein finanzielle Gesichtspunkte gaben schließlich den Ausschlag dafür, daß dem Ozonverfahren die Chlorierung des Wassers vorgezogen wurde.

Die Chlorung.

Die Anwendung von Chlor und chlorhaltigen Mitteln zur Entkeimung des Trinkwassers ist verhältnismäßig noch jungen Datums. Sie wurde zuerst in England, dann in Deutschland und besonders in Amerika häufiger ausgeführt, wo im Jahre 1912 von Ornstein die erste Chlorgasanlage erbaut wurde. Die Entwicklung des Chlorgasverfahrens in Deutschland geht zurück auf das Jahr 1920, nachdem bereits vorher einige Anlagen jedoch ohne bleibenden Erfolg errichtet worden waren. Auf die erste im Jahre 1920 im Wasserwerk Essen errichtete Anlage folgten bald weitere. Außer dem ursprünglichen Zweck des Verfahren, nämlich dem der Entkeimung, wurden noch weitere nützliche Anwendungsgebiete gefunden und

ausgebaut, von denen die Vernichtung von Algen und damit Fäulnisverhinderung und Geruchbeseitigung, ferner Geschmacksverbesserung und Aufhellung der Farbe des Wassers in besonderen Fällen, besonders genannt seien.

Ursprünglich wurde das Chlor dem zu behandelnden Wasser in Form entsprechender Salze zugeführt, die im Wasser auf Grund hydrolytischer Vorgänge leicht freies Chlor abspalten. Für diesen Zweck erwiesen sich besonders die Hypochlorite als sehr geeignet, und zwar fanden die Kalzium- und Natriumhypochlorite dabei Verwendung. Das Kalziumhypochlorid, auch Chlorkalk (CaCl(OCl)) genannt, enthält als wirksamen Bestandteil die unterchlorige Säure (HOCl), die bei der Lösung des Salzes in Wasser durch die Hydrolyse frei wird. Die freie unterchlorige Säure ist ein sehr starkes Oxydationsmittel, deren Sauerstoffabgabe in Gegenwart organischer Stoffe noch wesentlich beschleunigt wird. Dieser Sauerstoff in „statu nascendi“ ist nach Ansicht vieler Autoren der eigentliche Träger der bakteriziden Kraft des Chlorverfahrens. Oder in Formeln ausgedrückt:

$$Ca(OCl)_2 + H_2CO_3 = 2HOCl + CaCO_3$$
$$2HOCl = 2HCl + O_2$$

Die Behandlung des Wassers mit chlorhaltigen Salzen vermochte sich jedoch nicht in dem Maße durchzusetzen, wie man ursprünglich angenommen hatte, da es sich bald herausstellte, daß diese verhältnismäßig unbeständigen Salze leicht bei der Lagerung an der Luft einen starken Verlust an wirksamem Chlor aufzuweisen hatten, so daß die ursprünglich durch Versuch bestimmten Zusatzmengen an chlorhaltigen Salzen oft verdoppelt werden mußten, um ein befriedigendes Ergebnis zu erhalten. Als weiterer Nachteil bei der Verwendung des Chlorkalks zeigte es sich, daß bei der Lösung des Salzes in Wasser ein größer Teil als unlöslicher Schlamm zurückbleibt, der beseitigt werden muß.

Die bei der Anwendung von Chlorkalk angeführten Nachteile versuchte man durch die Verwendung von Na-

triumhypochlorit zu umgehen. Das unterchlorigsaure Natrium wird im Wasser bei Berührung mit organischen Bestandteilen in Kochsalz und Sauerstoff zerlegt. Die dabei in das Wasser gelangenden Kochsalzmengen sind jedoch so gering, daß sie gegenüber dem natürlichen Gehalt des Wassers an Kochsalz in den meisten Fällen praktisch ohne Belang sind. Trotz dieser Vorzüge gegenüber dem Chlorkalk fand das Natriumhypochloritverfahren nur wenig Anwendung, da seine Gewinnung auf elektrischem Wege zu teuer ist, und seine Anwendung in der Trinkwasserreinigung kostspielige Apparate erfordert. Die Formulierung lautet:

$$2NaOCl = 2NaCl + O_2$$

Alle diese Nachteile, welche die Verwendung chlorhaltiger Salze mit sich brachten, wurden durch die Einführung des Chlorgasverfahrens behoben, da es sich als das wirtschaftlichste und in der Anwendung einfachste und fast überall anwendbare Verfahren zur Entkeimung des Wassers erwies. Das Chlorgas, das in flüssiger Form in Stahlflaschen geliefert wird, hat den großen Vorteil, daß es nach seiner Anwendung keine störenden Salze hinterläßt und gleichzeitig bei der Lagerung keinen Verlust an wirksamer Substanz erleidet. Leitet man Chlorgas in Wasser, so entsteht Chlorwasser, das sich aus unterchloriger Säure und Salzsäure zusammensetzt. Die unbeständige unterchlorige Säure hat das Bestreben in die beständige Form, nämlich in die Salzsäure überzugehen, was unter Sauerstoffabgabe geschieht. Der Vorgang vollzieht sich nach folgenden Formeln:

$$Cl_2 + H_2O = HCl + HOCl$$
$$2HOCl = 2HCl + O_2$$

Die Hauptfrage bei der Anwendung des Chlors war nun, welche Mindestmengen im gegebenen Fall dem Wasser zugefügt werden müßten, um eine wirksame Entkeimung einerseits zu erzielen, andererseits aber jede Geschmacksverschlechterung des Wassers im Interesse des Verbrauchers vermieden würde. Die Erfahrung hat ge-

zeigt, daß die, für die Erzielung der gewünschten Wirkung, erforderliche Chlormenge je nach dem Gehalt des Wassers an organischen Substanzen verschieden ist, da eine gewisse Chlormenge von diesen Stoffen gebunden und damit unwirksam gemacht wird. Bei Bestimmung der Mindestchlormenge hat sich nun seit einigen Jahren der Begriff „Chlorbindungsvermögen" eingebürgert. Darunter ist diejenige Chlormenge zu verstehen, die von den verschiedenen Gehaltsstoffen des Wassers beansprucht wird, d. h. sich schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit nicht mehr chemisch nachweisen läßt. Um nun den Chlorverbrauch auf ein Mindestmaß herabzusetzen, wird man das Rohwasser vor der Chlorung durch Filtrationseinrichtungen von den chlorzehrenden Bestandteilen zu befreien versuchen. Es wird daher unter Berücksichtigung des Chlorbindungsvermögens des Wassers der Chlorzusatz so zu bemessen sein, daß unmittelbar nach dem Chlorzusatz ein bestimmter Chlorüberschuß vorhanden sein muß, der eine gewisse Garantie für die zu leistende Entkeimung bieten soll. Das Problem liegt also darin, die Chlorung in der Weise zu regeln, daß in jedem Augenblick genügend Chlor für die Sterilisation des Wassers übrig bleibt. Dafür bedarf es aber Untersuchungsmethoden, die einmal einfach und schnell die Feststellung der organischen Substanz, und weiter des Chlorüberschusses gestatten.

Es lag nun nahe, für die Bestimmung der organischen Substanz den Sauerstoffverbrauch heranzuziehen, der nach dem Kaliumpermanganatverfahren nach Kubel-Tiemann bestimmt werden kann. Nun greift aber das Kaliumpermanganat von den organischen Substanzen in erster Linie die Kohlehydrate oder die Kohlehydratderivate an, während das Chlor das Eiweiß oder die Eiweißzerfallsprodukte zerstört. Ein wirklicher Parallelismus zwischen Chlorverbrauch und Sauerstoffverbrauch eines Wassers besteht also nicht. Immerhin gibt die Bestimmung der

organischen Substanz nach Kubel-Tiemann einen Hinweis auf die ungefähr notwendige Chlormenge.

Für die Bestimmung des Chlorüberschusses, der eine genügende Desinfektionswirkung garantiert, kamen zunächst zwei Methoden in Frage, (Chlorkapazität nach Elanowitsch und Zalewski, und Chlorzahl nach Froboese), die mit Hilfe von Jodkalium und Stärke das Chlor durch Titration mit Natriumthiosulfat bestimmen. Weiter stand die kolorimetrische Methode von Olsczewski zur Verfügung, die mit Benzidin arbeitete, und die von Elms und Hauser, die das Ortho-Tolidin kolorimetrisch benutzten.

Diese vier oben genannten Methoden erwiesen sich jedoch als zu kompliziert, so daß sie in der Praxis keinen Eingang finden konnten. Eine neue Methode arbeitete Bruns aus, wobei besonderer Wert auf den Chlorüberschuß gelegt wurde, d. h. es wurde festgestellt wie viel freies Chlor sich nach 5 bezw. 15, 30 oder 60 Minuten nach dem Zusatz einer bestimmten Chlormenge auffinden ließ. Gleichzeitig zur Kontrolle angestellte bakteriologische Untersuchungen deckten die große Bedeutung dieses Chlorüberschusses auf. Sollte nämlich ein günstiger bakteriologischer Effekt erzielt werden, so war es nicht nur erforderlich, daß freies Chlor im Wasser noch 5 Minuten nach dem Zusatz überhaupt angetroffen wurde, sondern der Überschuß mußte ganz bestimmte Minimalwerte besitzen, die durch die jeweils vorhandenen organischen Substanzen des Wassers ausschlaggebend beeinflußt werden. Bruns kam in diesem Zusammenhang auf Grund seiner Versuche zu folgendem Ergebnis: „Will man der Chlorierung einen gewissen Sicherheitsfaktor verleihen, so muß man eine möglichst vollkommene Sterilisation des Wassers innerhalb von 5 Minuten verlangen, in der Praxis wäre dann die Oxydierbarkeit täglich einmal, der Chlorüberschuß täglich mehrere Male festzustellen, und der Chlorüberschuß danach zu regeln. Die chemische Kontrolle in der angegebenen Form sei danach im Stande, die bakte-

riologische Prüfung des Wassers wirksam zu unterstützen, die ihre Resultate frühestens immer erst nach 48 Stunden gibt."

Nach Klärung der Zusammenhänge über das Chlorbindungsvermögen des Wassers stellte es sich heraus, daß die zur Entkeimung des Wassers notwendigen Chlormengen ganz minimale sind. Es genügen schon etwa 0,1 bis 0,3 gr m^3 Wasser. Untersuchungen von Folpmers und Diénert u. a. zeigten, daß die Chlorempfindlichkeit verschiedener Bakterien verschieden ist. So stellte Folpmers fest, daß bei gleichen Versuchsbedingungen zur Abtötung der grampositiven Bakterien mehr Chlor erforderlich ist als zum Abtöten der gramnegativen Bakterien, was vielleicht auf eine andere Art Bakterieneiweißes oder der lipoiden Stoffe zurückzuführen ist. Allerdings bewegen sich die Unterschiede im Chlorzusatz in den gleichen Größenanordnungen, nämlich von 0,1—0,3 mgr/l Wasser, was für die Praxis von großer Wichtigkeit ist. Um allerdings Bakteriophagen und Wasserprotozoen abzutöten, waren nach den Untersuchungen von Diénert 0,8 mgr Chlor pro Liter Wasser notwendig.

Damit war ein weiteres Anwendungsgebiet des Chlors bei der Trinkwasseraufbereitung entdeckt, nämlich die Beseitigung von Algen und sonstigen Kleinlebewesen im Wasser, die dadurch störend wirken, daß sie die Filteranlagen schnell verstopfen und hierdurch häufigere Reinigungen erforderlich machen. Besonders umfangreich sind die bereits auf diesem Gebiete der Chlorung gemachten Erfahrungen der Hamburger Wasserwerke, wo es mit Hilfe der Chlorung gelang, die Zahl der Filterreinigungen auf rund ein Viertel der früher notwendigen Reinigungen herabzusetzen.

Außer der Entkeimung und Beseitigung der Algen bewirkt der Chlorzusatz auch eine beschleunigte Ausscheidung der Kolloide, wenn das Rohwasser vor oder gleichzeitig mit dem Fällmittelzusatz gechlort wird. Mehrfache Chlorung hat sich in Verbindung mit Koagulation und

Filtration als vorteilhaft erwiesen, insbesondere dort, wo man auf Flußwasser, das gewöhnlich stark verunreinigt ist, angewiesen ist. In diesen Fällen wird zunächst Chlor gleichzeitig mit Aluminiumsulfat dem Rohwasser zugegeben, nach der erforderlichen Koagulationszeit durch Schnellfilter getrieben, und das Reinwasser nochmals leicht nachgechlort. Als Vorteile der Doppelchlorung haben sich außer einer Bakterienreduktion von gewöhnlich 99 bis 99,5%, Verhütung von Geruch und Geschmack, selbst bei sehr stark verschmutztem Wasser, und außerdem eine beträchtliche Ersparnis an Fällungsmitteln herausgestellt. Dieser letzte Gesichtspunkt ist vom Standpunkt der Praxis aus betrachtet außerordentlich wichtig und erklärt sich dadurch, daß das Chlor infolge seiner entkolloidierenden Wirkung die Ausflockung erhöht, Beobachtungen, die in Deutschland von Bach (Essen) und Mieder (Leipzig) gemacht wurden. In Amerika waren es Streeter und Wright, die Versuche im großen anstellten, um den Erfolg der doppelten Chlorung nachzuprüfen. Auch sie kamen zu dem Ergebnis, daß die doppelte Chlorung in der oben angeführten Art ein besseres bakteriologisches Ergebnis liefert, als die gleiche Chlormenge bei einmaliger Anwendung nach der Filtration.

Es gelingt also heute durch die Chlorung ein praktisch keimfreies Wasser zu erhalten. Viele Forscher versuchten nun die entkeimende Wirkung des Chlors näher zu erklären. Hierin gehen allerdings die Meinungen der Autoren noch sehr stark auseinander. Nach Ansicht von Bunau-Varilla handelt es sich bei der bakteriziden Wirkung des Chlors um einen rein physikalischen Vorgang. Sie glaubten nämlich, daß die geringen Chlormengen, mit denen man bereits eine Abtötung der Keime erreichen könnte, nicht genügen würden, um den Vorgang chemisch zu erklären, sondern glaubten, daß durch das Chlor eine abiotische Strahlung erzeugt werde, welche die Bakterien zu töten im Stande sei. Eine genaue Nachprüfung dieser Beobachtungen durch Diénert und Etrillard an zahl-

reichen Versuchsanordnungen mit Hilfe photographischer Platten führten jedoch zur Überzeugung, daß es sich hierbei nicht um eine Strahlenwirkung handeln könne, sondern daß die chemische Theorie als zurecht bestehend angesehen werden muß. Nach dieser Theorie ist die bakterizide Wirkung des Chlors als Giftwirkung aufzufassen, und zwar derart, daß die additionsfähigen Komponenten des lebendigen Plasmas durch Chlor, oder nach Groß, durch Sauerstoff abgesättigt werden und hierdurch ihre normale Reaktionsfähigkeit einbüßen.

In der ersten Zeit, als das zuerst in Amerika ausgeübte Chlorverfahren zur Sterilisation des Trinkwassers auch in Deutschland in der Praxis Eingang gefunden hatte, hat es auch nicht an Klagen gefehlt, die hier und dort über die Geschmacksbeeinträchtigung des Trinkwassers durch die Chlorung geäußert wurden. Bei der Kenntnis der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Chlors war es nur allzu verständlich, daß man hierfür in erster Linie eine Überdosierung des Chlorzusatzes, sei es in Gestalt von Chlorkalk, unterchlorig-sauren Salzen oder Chlorgas, als verantwortlich in Betracht ziehen mußte, denn nach der heute allgemein vertretenen Ansicht muß ja das gechlorte Wasser noch einen geringen aber deutlichen Chlorüberschuß aufweisen, damit ein genügender bakteriologischer Erfolg gewährleistet ist. Damit der letzte Rest des Chlors gebunden wird, bevor das Wasser zu Genußzwecken Verwendung findet, mußte man zu chemischen Mitteln greifen, den sogenannten Antichlormitteln, die das Chlor zu binden im Stande sind, da es durch einfache Belüftung des Wassers nicht gelingt, den entsprechenden Effekt zu erreichen. Von den Antichlormitteln haben besonders Natriumthiosulfat, Natriumsulfat und Kaliumpermanganat in der Praxis Anwendung gefunden. Da die Antichlormittel auch die keimtötende Wirkung des Chlors aufheben, dürfen diese Mittel erst nach etwa einstündiger Einwirkung des Chlors zugesetzt werden.

Unerklärlich blieb vorläufig nur noch die sowohl in

Amerika als auch in Europa wiederholt beobachtete Tatsache, daß der gleiche unangenehme Geschmack auch in solchen Fällen zu verzeichnen war, wo die dem Wasser zugesetzte Chlormenge unterhalb der Grenze der Geschmacksempfindlichkeit lag. (Die Grenze, bei der geschmacksempfindliche Personen noch Chlorgeschmack feststellen können, liegt etwa bei Verdünnungen von 1 : 2 000 000).

Es bedurfte noch zahlreicher Beobachtungen und Versuche, die u. a. mit den Namen Bruns, Bach, Hetzel, Sierp, Imhoff, Diénert und Wandenbulke verknüpft sind, bis völlige Klarheit über die Entstehung von Geruch- und Geschmacksbildung bei der Chlorung geschaffen war. Heute wissen wir, daß gewisse charakteristische Bestandteile von Steinkohlenteerabfällen, die von den Nebenproduktenanlagen der Zechen, Gasanstalten und chemischen Fabriken mit den Abwässern in den Flußlauf gelangen oder verschiedentlich auch solche, die aus dem Innenanstrich der Verteilungsrohre und Hochbehälter der Wasserwerke stammen, als verantwortlich anzusehen sind. Diese im Wasser nur in ganz geringem Maße löslichen Bestandteile liefern bei einsetzender Chlorung so genannte Chlorsubstitutions- oder Additionsprodukte (besonders Chlorphenole), die selbst noch in Mengen von 10^{-10} gr deutlich wahrnehmbar und mit einem fast unerträglichen unangenehmem Karbol-Teer- od. Apothekengeschmack behaftet sind. Im wesentlichen und wohl in erster Linie kommen hier die Rohphenole, Kresole, Benzol, Xylol, Anisol und Bestandteile des Petroleums in Betracht. Weiterhin besteht die Vermutung, daß gewisse Pflanzen des Süßwassers im Zustand der Zersetzung oder Fäulnis Stoffe bilden, die mit dem Chlor unangenehm schmeckende oder riechende Verbindungen eingehen. Besonders deutlich tritt dieser Geschmack bei dem Genuß von Nahrungsmitteln auf. Wenn die oben genannten Chlorverbindungen in der außerordentlich starken Verdünnung auch auf die Gesundheit des Menschen keinen

nachteiligen Einfluß ausüben, so stellt doch der Chlorgeschmack eine unangenehme Begleiterscheinung dar, die den meisten Menschen den Genuß eines derartigen Wassers unmöglich macht. Bis vor kurzem stand man diesen Dingen ziemlich rat- und tatlos gegenüber, da auch die bekanntesten Entchlorungsmittel oder Geschmackskorrigenzien ohne nennenswerten Einfluß blieben. Man versuchte daher eine andere Lösung zu finden, die man dann auch in der Verwendung der „aktiven" Kohle fand.

Unter aktiver Kohle versteht man einen chemischen Stoff, der infolge seiner Porosität und seiner oberflächenaktiven Eigenschaften in hohem Maße befähigt ist, Gase, Dämpfe und feste gelöste oder kolloidal gelöste Substanzen zu absorbieren. Wenn man auch schon in früheren Jahren Kohlefilter zur Trinkwasserreinigung benutzt hatte, so ist der Gedanke, hinsichtlich der Beseitigung von geschmacksbeeinträchtigenden Stoffen und der zur Verwendung im Großen, für Kohlefilter neu.

Die aktiven Kohlen haben in der Praxis der Wasserreinigung eine zweifache Aufgabe zu erfüllen. Erstens die Beseitigung von lästigen organischen Geschmacks-, Geruchs- oder Farbstoffen, die durch die üblichen Aufbereitungsverfahren nicht entfernt werden können; diese Aufgabe wird durch Ausnutzung der absorptiven Eigenschaften der aktiven Kohle gelöst. Zweitens verwendet man die aktive Kohle zur Entchlorung von Wasser, dem zur vollkommenen und betriebssicheren Abtötung von Keimen überschüssiges Chlor zugesetzt worden war. Während bei der ersten Methode die physikalischen Vorgänge im Vordergrund stehen, tritt bei der hierbei stattfindenden Umwandlung des elementaren Chlors zu Chlorion der Kohlenstoff der Kohle unter Bildung von Kohlendioxyd und niederen Oxydationsprodukten chemisch in Reaktion.

Das Verfahren der reinen Absorption kann bei allen Trinkwässern angewandt werden, die soweit vorgereinigt sind, daß die Oberfläche der aktiven Kohle nicht mehr

durch andere Schmutzstoffe zu stark belastet wird. Es kommt überall dort in Frage, wo keine großen Veränderungen in der Art der Geruchs- und Geschmacksstoffe vorhanden sind, und nur vorübergehend Wellen auftreten, die höhere Verschmutzungsgrade aufweisen.

Dagegen kommt das zweite Verfahren bei Wässern in Frage, die ständig Geruchs- und Geschmacksstoffe in größerer Menge enthalten, oder solche Stoffe, die der reinen Absorption nicht so stark unterliegen. Zu diesen Stoffen gehören in erster Linie die Huminstoffe, die man in den Trinkwässern der Moorgegenden in großen Mengen vorfindet, und die als Schutzkolloide wirkenden Stoffe der organischen Mangan- und Eisenverbindungen. War man früher genötigt, in Wasserwerken aus hygienischen Rücksichten eine Überchlorung, auch auf die Gefahr hin, hier und da nicht restlos alle Keime abgetötet zu haben, möglichst zu vermeiden, so steht heute einer absichtlichen Überdosierung der Chlormenge bei nachfolgender Behandlung des Wassers mit aktiver Kohle nicht nur nichts im Wege, sondern sie ist in vielen Fällen als sicherste Maßnahme zur restlosen Entkeimung des Wassers sogar zu empfehlen. Auf diesen Gedankengängen fußend entwickelte Adler das nach ihm benannte Verfahren der Hochchlorierung. Adler stellte sich folgendes zur Aufgabe: Vollkommene Befreiung des Wassers von Keimen, unabhängig von Keimzahl, Temperatur und der Art und Menge der chlorzehrenden Substanzen des Rohwassers, weitgehendste Reduzierung der letzteren, restlose Entfernung des Eisens und Mangans, auch in organisch gebundener Form durch entsprechende Überchlorung und nachtäglicher Entchlorung mittels Kohlefiltern. Damit war praktisch das letzte Glied in der langen Kette der Entwickelung der Chlorung gefunden, welches vom wassertechnischen Standpunkt aus jedes Wasser durch das entsprechende Aufbereitungsverfahren und nachträgliche Chlorung zu einem vollwertigen Trinkwasser verwandeln kann.

Die Kohle absorbiet nicht nur Chlorphenol, sondern auch viele andere Stoffe, die das Porenvolumen des Filters stark in Anspruch nehmen, so daß das Filter von Zeit zu Zeit gereinigt werden muß; während die gröberen auf der Oberfläche absorbierten Stoffe wie Eisenhydroxyd, organische Stoffe usw., sich leicht durch Rückspülung beseitigen lassen, müssen die anderen Stoffe, zu denen auch das Chlorphenol zu gehören scheint, durch Ausdämpfung beseitigt werden. Nach öfterem Ausdämpfen und Rückspülen läßt der Wirkungsgrad der Kohle stark nach. Sie muß dann durch Ausglühen reaktiviert werden. Das erste in Deutschland errichtete Großfilter, bei dem die aktive Kohle Verwendung fand, wurde 1928 durch den Ruhrverband in dem Wasserwerk der Stadt Hamm nach dem Prinzip der reinen Absorption errichtet. Das Rohwasser der Stadt Hamm enthält von der großen Holzkohlenindustrie herrührend in oft schwankenden Mengen Phenole, die die Schnell- und Langsam-Sandfilter passieren und bei der normalen Chlorung Chlorphenole bilden, die das Trinkwasser oft ungenießbar machen. Die Filter mit aktiver Kohle haben hier vollständigen Wandel geschaffen. Das Filter hat bisher jede Chlorphenolwelle restlos zurückgehalten, so daß die früher in der Stadt Hamm sehr häufigen Klagen über den schlechten Geschmack und Geruch des Trinkwassers vollständig verschwunden sind.

Als wirksames Mittel zur Bekämpfung von Geruch und Geschmack bei der Chlorung scheint in neuester Zeit außer der aktiven Kohle noch das Chloramin Verwendung zu finden, zumal es sich herausstellte, daß die Behandlung von Trinkwasser mit Chlor in Verbindung mit Amoniak sich aus verschiedenen Gründen als wesentlich wirksamer erwiesen hat als mit Chlor allein. Das Amoniak wird in der Regel in gasförmigem Zustand, seltener in Form von Amoniumsulfat, vor der Chlorung zugesetzt, und zwar wird nach Olszewski bei einem Mischungsverhältnis von Amoniak und Chlor von 1,5:1 die bestmögliche Ent-

keimung erzielt. Imbeaux und der Russe Koschkin versuchten auf Grund ihrer ausgedehnten Arbeiten die erhöhte Wirkung des Chlors durch Präammonisation zu erklären. Während Imbeaux zu dem Resultat kam, daß die erhöhte Wirksamkeit durch die Bildung von Chloramin vom Typ NH_2Cl und $NHCl_2$ zu erklären sei, betonte Koschkin mehr die Zusammenhänge des Ammoniaks mit dem Chlorbindungsvermögen. Er konnte nämlich feststellen, daß das vor dem Chlor beigesetzte Ammoniak des Chlorbindungsvermögen des Wassers um das mehrfache herabsetzt, und dadurch die bakterizide Wirkung des Chlors steigert. Er stellte sich damit bewußt in Gegensatz zu der Auffassung von Imbeaux, und behauptete, daß die Steigerung der bakteriziden Eigenschaften des Chlors bei vorhergehendem Zusatz von Ammoniak sich nur durch die Abnahme des Chlorbindungsvermögens erklären läßt, infolge der Bindung des zugesetzten Ammoniaks mit im Wasser befindlichen Substanzen, welche dadurch ihre Fähigkeit eingebüßt haben, Chlor zu binden. Besonders augenfällig ist der Effekt des Zusatzes von Ammoniak zu phenolhaltigem Wasser vor dem Chlorieren dieses Wassers, denn der sonst auftretende Apothekengeruch und -Geschmack des Wassers ist vollkommen verschwunden. Koschkin schloß daraus, daß die Vermeidung von Apothekengeruch und -Geschmack offenbar von der Herabsetzung des Chlorbindungsvermögens durch Ammoniakzusätze abhängig ist. Allerdings konnten diese guten Ergebnisse nur bei Präammonisation erzielt werden; gleichzeitiger Zusatz von Ammoniak und Chlor oder der spätere Zusatz von Ammoniak können die Geruch- und Geschmackbildung in phenolhaltigen Wässern nicht verhindern.

Wenn auch in den kleinen Ammoniakmengen, die in gesundheitlicher Beziehung zu irgend welchen Bedenken keinen Anlaß geben, ein ideales Mittel gefunden worden ist, das sowohl die bakterizide Kraft des Chlors wesentlich erhöht als auch die öfters auftretenden Geschmacksbeein-

trächtigungen durch Chlorverbindungen wirksam bekämpfen kann, so stehen der Einführung des neuen Verfahrens zur Zeit noch große technische Schwierigkeiten im Wege, so daß das Verfahren bis jetzt noch keine weitere Verbreitung in der Praxis gefunden hat.

Desinfektion des Wassers mit Metallen und Metallsalzen.

Die keimtötende Wirkung von Metallsalzen findet in der Heilkunde bereits seit langer Zeit Verwendung. Schon Raulin (1867) und Vincent (1895) fanden, daß Silber und seine Salze das Wachstum niederster Pflanzen ungünstig beeinflussen. Vor allem fanden die Verbindungen von Quecksilber und Silber in der Heilkunde Anwendung, da es sich herausstellte, daß sie eine sehr starke keimtötende Wirkung entfachen können. Weniger starke Wirkung weisen die Verbindungen des Kupfers und des Zinks auf.

Grundlegend für die weitere Verwendung von Metallen und Metallsalzen zur Desinfektion wurden die Arbeiten von v. Naegeli, der nachweisen konnte, daß nicht nur die Metallsalze, sondern auch die Metalle selbst und darunter vor allem Feinsilber neben der spezifischen chemischen Giftwirkung in winzigen, feinst verteilten Mengen katalytisch „oligodynamitische“ keimtötende Wirkung auszuüben vermögen. Auf Grund dieser Befunde hat Krause ein praktisch verwendbares Sterilisierungsverfahren ausgearbeitet, dessen wirksames Agens metallisches Silber ist, das durch ein besonderes Blähverfahren mit ungewöhnlich großer Oberfläche hergestellt wird, und so infolge Schaffung eines optimalen Verhältnisses zwischen Volumen und Oberfläche in den Zustand größter Aktivität gebracht wird, und mit dem Namen „Katadyn“ bezeichnet hat. Der Name Katadyn ist von Krause selbst geprägt worden und soll die katalytische und dynamische Wirkung von Metallen bezeichnen. Dieses Blähsilber wird auf Körper mit großer Oberfläche als feinster Überzug

niedergeschlagen (z. B. Sand, Ton- oder Porzellangefäße) und wirkt dann durch Abgabe feinster Silberspuren keimtötend.

Olszewski hat nun die Wirkung von Katadyn-Silber in Flaschensterilisatoren auf ihre bakterizide Wirkung hin geprüft. Aus diesen Versuchen mit Katadyn-Silber ergab sich, daß bei der Desinfektion des Wassers mit Silber ganz besonders der Zeitfaktor zu berücksichtigen ist, um ein gutes Resultat zu erzielen. Da es oftmals in der Praxis aber nicht möglich sein wird, das Wasser viele Stunden mit dem Silber in Berührung zu belassen, so ist unbedingt noch eine Nachwirkungszeit des aktivierten Wassers ohne Berührung mit dem Silber anzusetzen. Je länger die Berührungszeit mit dem Katadyn-Silber gewählt wird, desto kürzer kann die Nachwirkungszeit gehalten werden. Zur Erzielung des gleichen Effekts muß bei kurzfristiger Berührung mit dem Silber die Nachwirkung wegen des Wegfalls der katalytischen Wirkung erheblich länger vorgesehen werden. Die Untersuchungen von Olszewski ergaben weiterhin, daß die geprüften Wasserproben oftmals reichlich Sporenbildner enthielten, die zu ihrer Abtötung wesentlich längere Zeit beanspruchten als die Abtötung sporenfreier Bakterien. In trübem Wasser erwies sich die Keimtötung als ungenügend, so daß der Behandlung des Wassers mit Katadyn-Silber unbedingt die Entfernung sämtlicher trübender Substanzen vorausgehen muß.

In Stralsund sind vor kurzer Zeit Versuche an einer Großanlage vorgenommen worden. Hierbei zeigte sich, daß beim schnellen Wasserdurchlauf durch den Katadynkörper eine ausreichende Keimtötung nicht erreicht werden konnte. Es ist also ein ziemlich großer Wasserbehälter erforderlich, in dem das Wasser nach der Berührung mit dem Silber vor der Abgabe an den Verbraucher einer längeren Reaktionszeit unterworfen werden kann. Diese Nachwirkung während der Speicherung ist ein Vorgang, der abhängig ist von der Menge der aufgenommenen

Silberionen und von der Klarheit des Wassers. Dieser Vorgang läßt sich durch irgend welche technischen Maßnahmen nicht beeinflussen, es sei denn, daß man das Wasser im Behälter nochmals mit Silber in Berührung bringt. Da nun der ganze Erfolg von der in Lösung gegangenen Silbermenge abhängt, ist deren Bestimmung eine unerläßliche Kontrolle. Dieser Bestimmung stellen sich aber in der Praxis so große Schwierigkeiten entgegen, daß eine schnelle und zuverlässige Kontrolle auf dieser Basis bis jetzt noch nicht gefunden worden ist. Der Erfolg der Silberbehandlung ist daher vorläufig nur durch bakteriologische Untersuchungen einwandfrei zu kontrollieren. Das einstweilige Ergebnis der Untersuchung auf Colibakterien liegt aber erst nach 24 Stunden vor. Damit sind in kurzen Zügen auch gleichzeitig die Schwierigkeiten gekennzeichnet, die das ganze Silberentkeimungsverfahren zur Zeit noch als recht unsicher erscheinen lassen.

Die Entsäuerung.

In allen natürlichen Wässern findet man mehr oder weniger große Mengen freier Kohlensäure. Diese freie Kohlensäure kann in erheblichem Umfang zu Störungen in den für die Speicherung und Leitung des Wassers verwendeten Materialien führen. Ihre Entfernung aus dem Wasser hat aber nicht nur rein technisches Interesse, sondern auch hygienische Belange spielen eine große Rolle, da vermöge der agressiven Eigenschaften der freien Kohlensäure das Wasser oftmals größere Mengen gelösten Eisens mit sich führt, was bei längerem Stehen des Wassers an der Luft zu einer recht unappetitlichen Gelb- bis Braunfärbung des Wassers führen kann.

Für die Praxis war es nun notwendig, Methoden auszuarbeiten, welche es gestatteten festzustellen, welche Mengen agressiver Kohlensäure im Wasser Eisen, kohlensauren Kalk oder Beton so stark und so schnell auflösen, daß hieraus Mißstände entstehen könnten. Die Grundlage

für ihre Bestimmung bildet das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Je höher die vorübergehende Härte des Wassers ist, desto größer ist gewöhnlich auch der Gehalt an freier Kohlensäure. Es ist dies darauf zurückzuführen, daß die Löslichkeit der Karbonate, in erster Linie des kohlensauren Kalks, abhängig ist von der Menge der im Wasser gelösten freien Kohlensäure, und das jede Menge im Wasser gelösten Kalziumbikarbonats einer ganz bestimmten Menge freier Kohlensäure bedarf, um gelöst zu bleiben und Ausscheidungen als Monokarbonat zu verhindern. Es besteht also mit anderen Worten zwischen kohlensaurem Kalk und Kohlensäure einerseits sowie zwischen Bikarbonat und freier Kohlensäure andererseits ein chemisches Gleichgewicht. Um die Frage beantworten zu können, ob ein Wasser entsäuert werden muß oder nicht, ist die Kenntnis der vorhandenen freien Kohlensäure und seine Karbonathärte Voraussetzung. Groß benutzte nun als Maßstab für die notwendige Entsäuerung den Wasserstoffexponenten und legte auf Grund eingehender Versuche tabellarisch fest, unter welchen Verhältnissen eine Entsäuerung notwendig ist oder nicht.

Die freie Kohlensäure ist im Wasser zum größten Teil (über 99%) gasförmig als Dioxyd gelöst. An der freien Luft und besonders beim Erwärmen entweicht aus dem Wasser stets mehr oder weniger freie Kohlensäure. Wird hierbei das Lösungsgleichgewicht des Kalziumbikarbonats überschritten, so fällt ein entsprechender Teil des kohlensauren Kalks aus und erzeugt bei Leitungen an ihrer Innenseite einen allmählich immer dichter werdenden Wandbelag. (Kalksinterbildung)

In der Wassertechnik werden heute zur Entsäuerung des Trinkwassers vornehmlich 3 Methoden angewandt: Die Marmorentsäuerung, der Zusatz von Kalkwasser und die Rieselung an der Luft.

Die Marmorentsäuerung.

Das Marmorverfahren ist das älteste Entsäuerungsverfahren. Es ist zuerst durch Scheelhaase in die Praxis eingeführt worden. Grundsätzlich besteht das Verfahren darin, daß man das zu entsäuernde Wasser über ein Filter aus fein gekörntem Marmor langsam fließen läßt, dabei wird der Teil der freien Kohlensäure, der kalkagressiv ist, unter Bildung von Kalziumbikarbonat gebunden.

$$2\,CaCO + 2\,H_2CO_3 = 2\,Ca(HCO_3)_2$$

Das Marmorverfahren ist nur für weiche Wässer geeignet. Je mehr Karbonathärte das Wasser aufweist, um so stärker wird die Abgabe der agressiven Kohlensäure verlangsamt, bezw. unvollständig erfolgen. Wie aus der obigen Formulierung hervorgeht, tritt bei der Entsäuerung nach dem Marmorverfahren eine Steigerung der Karbonathärte ein, die evtl. bei sehr weichen Wässern zur Ausbildung der Schutzschicht im Rohrnetz von Vorteil sein kann, andererseits aber bereits sehr harte Wässer dadurch weiterhin unverwendbar macht. Als weiterer Nachteil wäre noch die Möglichkeit einer bakteriellen Verunreinigung zu erwähnen, die vor allem beim Auffüllen der Marmorfilter gegeben ist. Diesen Nachteilen des Verfahrens stehen aber wiederum die großen Vorteile gegenüber, daß es vollständig automatisch arbeitet und jede Schwankung in der Wassermenge oder im Kohlensäuregehalt selbsttätig ausgleicht, da nicht mehr kohlensaurer Kalk in Lösung gehen kann, als der zur restlosen Bindung im Wasser zur Verfügung stehenden agressiven Kohlensäure entspricht. Als weiterer Vorteil wäre noch anzuführen, daß es sich bei dem Marmor um einen Stoff handelt, der in den Bodenschichten, in denen Grundwasser steht, vorkommt, also keinen Fremdkörper für das zu behandelnde Wasser darstellt.

Entsäuerung mit Kalkwasser.

Dieses Entsäuerungsverfahren, um das sich in neuerer Zeit vor allem Bücher verdient gemacht hat, arbeitet

ebenfalls mit einem chemischen Zusatzmittel, welches im Stande ist, die freie Kohlensäure zu binden, nämlich mit Kalkwasser. Das Kalkwasser vermag nämlich unter Bildung von Kalziumkarbonat bei entsprechender Dosierung einem Wasser die gesamte agressive Kohlensäure zu entziehen.

$$Ca(OH)_2 + 2H_2CO_3 = Ca(HCO_3)_2 + 2H_2O$$

Die Vorteile dieses Verfahrens bestehen darin, daß man die agressive Kohlensäure völlig beseitigen kann, daß man sogar, wenn man es für zweckmäßig hält, auch die zugehörige Kohlensäure entfernen kann. Das wiederum hat zur Folge, daß man das Ausfällen von kohensaurem Kalk und damit die Schutzschichtbildung beliebig beeinflussen kann, je nach der Kalkwasserdosierung. Im Gegensatz zum Marmorverfahren sind bakterielle Verunreinigungen bei diesem Entwässerungsverfahren technisch leichter zu verhindern, da die Kalklauge selbst bakterizide Kräfte zu entfalten vermag. Als weiterer Vorteil gegenüber dem Marmorverfahren wäre noch hervorzuheben, daß das Kalkwasserverfahren wesentlich billiger arbeitet.

Ein Nachteil des Kalkverfahrens ist es, daß der Kalkzusatz dosiert werden muß, und somit eine ständige Überwachung notwendig ist, damit der Chemikalienzusatz etwaigen Schwankungen in der Wasserbeschaffenheit rechtzeitig angepaßt werden kann, da ein Chemikalienüberschuß leicht zu Trübungen und zu laugenhaftem Geschmack Veranlassung geben kann, bei einem zu geringen Chemikalienzusatz dagegen die erwünschte Wirkung ausbleibt. Auch beim Kalkverfahren wird die Härte des Wassers gesteigert, allerdings nicht in dem Maße wie beim Marmorverfahren, da von einem Mol Kalk zwei Mol Kohlensäure gebunden werden. (s. Formulierung)

Rieselung an der Luft.

Gegenüber den beiden erstgenannten älteren Verfahren der Beseitigung der agressiven Kohlensäure durch chemische Mittel ist in neuerer Zeit mehr und mehr die mecha-

nische Ausscheidung der Kohlensäure in den Vordergrund getreten. Das Prinzip der mechanischen Entfernung der Kohlensäure besteht in der Zerreißung des Wassers in feine Tropfen, wobei die Kohlensäure in die Luft entweicht. Das Verfahren wird in der verschiedensten Weise ausgeführt, so u. a. durch Rieselung des Wassers über Koksstücke, Ziegelbrocken, Betonhürden oder durch Verregnung des Wassers. Neuerdings bevorzugt man Streudüsen, von denen immer ein Paar gegeneinander spritzen, oder Prellteller, auf die das Wasser auffällt, wodurch jeweils eine sehr feine Zerstäubung des Wassers erzielt wird. Eine weitere Möglichkeit der Entgasung stellt noch das Verfahren dar, welches sich der Evakuierung des Wassers bedient. Hierbei wird das Wasser unter Vakuum verregnet, verrieselt oder zerstäubt, wobei es ebenfalls gelingt, eine recht wirksame Entsäuerung zu erreichen. Es entstehen also bei diesem Entsäuerungsverfahren im Gegensatz zu den beiden vorhergehenden keinerlei Materialunkosten, was allerdings durch die höheren Betriebskosten, verursacht durch das Zerstäuben des Wassers bis zu einem gewissen Grad wieder ausgeglichen wird.

Bei diesen genannten Verfahren ist es sehr wesentlich, daß die Kohlensäure durch gründliche Luftbewegung entfernt wird. Ist dies nicht der Fall, so reichert sich die Kohlensäure, die ja schwerer ist als Luft, in dieser in der Nähe der Rieselungsanlagen an. Da nun die Löslichkeit der Kohlensäure vom Partialdruck abhängt, so muß der gesteigerte Partialdruck der Luft an Kohlensäure dahin wirken, daß die Entgasung unvollständig vonstatten geht. Man hat für diesen Zweck auch schon Ventilatoren eingebaut, um dadurch eine Luftbewegung zu schaffen und so die Kohlensäure zu beseitigen.

Diese Verfahren der mechanischen Ausscheidung der Kohlensäure haben sich sowohl bei Entsäuerung von weichen als auch harten Wässern bewährt. Im allgemeinen jedoch werden diese Verfahren in Verbindung mit einem der erstgenannten angewandt, da es meistens nicht

gelingt, das Wasser auf mechanischem Wege vollständig zu entsäuern.Eine Überwachung dieser Entsäuerungsanlagen ist ebenso wie beim Marmorverfahren nur von Zeit zu Zeit erforderlich. Mit der feinen Zerstäubung des Wassers und der damit verbundenen Kohlensäureabgabe ist gleichzeitig eine Vermehrung des Sauerstoffs im Wasser verbunden, die allerdings hygienisch durchaus belanglos ist. Die Frage, wie weit dem Sauerstoff ebenfalls agressive Eigenschaften zuzusprechen sind, wird von den Autoren sehr unterschiedlich beantwortet; jedenfalls scheint der Sauerstoff bei der Erklärung der agressiven Vorgänge eine ziemlich untergeordnete Rolle zu spielen.

Enteisenung des Wassers.

Das in den natürlichen Wässern vorkommende Eisen ist meist in Form von kohlensauren (Ferrokarbonat: $FeCO_3$) und doppelkohlensauren (Ferrobikarbonat: $Fe(HCO_3)_2$) Salzen gelöst. Beide Salze werden durch den Luftsauerstoff leicht zu Ferriverbindungen oxydiert. Die Ferrikarbonate sind jedoch im Wasser unbeständig und zerfallen sofort in Ferrihydroxyd ($Fe(OH)_3$) und Kohlensäure. Das zunächst kolloidal gelöste Ferrihydroxyd geht dabei in die Hydrogelform über und scheidet sich dann in rotbraune Flocken aus, was die unappetitliche Färbung des Wassers hervorruft. Die Ausscheidung des Eisens geht im allgemeinen leicht vor sich, wenn das Eisen an Kohlensäure gebunden ist; größere Schwierigkeiten bereitet allerdings die Entfernung des Eisens, das an organische Substanzen oder an Schwefelsäure gebunden ist.

Zur Enteisenung findet offene und geschlossene Anlage Verwendung. Bei den offenen Anlagen wird das Wasser direkt mit der atmosphärischen Luft in Berührung gebracht. Diese Belüftung geschieht hierbei nach denselben Prinzipien wie sie bereits bei der Entsäuerung des Wassers geschildert wurden. Durch die Belüftung wird dem Wasser der nötige Sauerstoff zugeführt, um die Ferroverbindungen in Ferriverbindungen umzuwandeln,

und auf diese Weise die Eisensalze zur Ausfällung gebracht. Das belüftete Wasser bedarf dann zur vollständigen Ausflockung einer Reaktionszeit, die nicht weniger als eine Stunde betragen soll. Das ausgeflockte Eisen wird, soweit es sich nicht schon während der Reaktionszeit abgesetzt hat, durch Filtration ausgeschieden. Die zu diesem Zweck früher verwendete langsame Sandfiltration ist allgemein durch die offene Schnellfiltration ersetzt worden, da sie sich als wesentlich wirtschaftlicher im Betrieb erwiesen hat. Da die Schnellfilter nicht nur eine Oberflächenwirkung sondern auch eine Tiefenwirkung besitzen, so fördern sie die Enteisenung auch durch Kontaktwirkung, so daß die Reaktionszeit vor der Filtration entsprechend herabgesetzt werden kann. Die Vorteile dieser offenen Enteisenungsanlagen sind vor allem die gleichzeitige Ausscheidung der freien Kohlensäure und des Schwefelwasserstoffs bei der Belüftung. Die Nachteile bei der offenen Enteisenungsanlage liegen in der Möglichkeit einer Verunreingung des Wassers durch die ungehinderte Berührung mit der atmosphärischen Luft.

Bei den geschlossenen Enteisenungsanlagen erfolgt die Belüftung, Koagulation und Filtration in geschlossenen Kesseln, die je nach Bedarf einzeln in den Gesamtbetrieb eingeschaltet werden können. Die zur Oxydation notwendige Luft wird meist durch Kompressoren eingedrückt und durch besondere Mischapparate in innige Berührung mit dem Wasser gebracht. Diese Art der Luftzuführung gestattet eine Regulierung der Luftmenge auf das gerade noch notwendige Minimum. Der Hauptvorteil der geschlossenen Enteisenungsanlagen ist wohl darin zu sehen, daß sie neben der Dosierungsmöglichkeit der Luft einen guten Schutz gegen Verunreinigungen des Wassers von außen garantieren. Die Nachteile dieser Enteisenungsmethode sind durch den komplizierten Bau der ganzen Anlage bedingt, was leicht zu ungleichmäßigen oder sogar ungenügenden Resultaten führen kann.

Entmanganung des Wassers.

Ähnlich wie bei der Enteisenung hat man auch hier zwischen leicht und schwer ausscheidbaren Manganverbindungen zu unterscheiden. Tritt das Mangan in Form von Karbonaten auf, so macht seine Ausscheidung keine großen Schwierigkeiten, im Gegensatz zum Mangansulfat oder organischen Manganverbindungen, deren Ausscheidung auf große Schwierigkeiten stößt. Die Entmanganung kann sowohl auf chemisch-mechanischem als auch auf biologischem Wege erfolgen. Sie entspricht also ganz der Enteisenung des Wassers; auch bei der Entmanganung beruht die Wirkung auf Oxydations- und katalytischen Vorgängen, also auf Kontaktwirkung. Auf dieser Tatsache ist auch das Verfahren mit dem schwarzen Sand, das von Lühr ig angegeben wurde, aufgebaut. Schwarzer Sand wird hierbei als Filtermaterial verwendet; es handelt sich hierbei um gewöhnlichen Quarzsand, der durch feinste Braunsteinablagerungen allmählich eine braune bis schwarze Farbe angenommen hat und nach den bisher gemachten Erfahrungen bei Gegenwart von Sauerstoff in hohem Grade entmanganende Eigenschaften besitzt. Auch hier ist wie bei der Enteisenung Sauerstoff notwendig, um das zweiwertige Mangan in den vierwertigen Braunstein überzuführen und so zur Ausfällung zu bringen.

Neben diesem rein chemisch-mechanischen Verfahren hat sich auch in der Praxis das biologische Entmanganungsverfahren nach Vollmar bewährt, das die Lebenstätigkeit der Manganbakterien (besonders Clonothrix fusca und Crenothrix manganifera) ausnützt. Besondere Erfahrungen auf diesem Gebiete wurden bisher in den Dresdener Wasserwerken gesammelt, wo diese Art der Entmanganung bereits längere Zeit Verwendung findet. Das zu entmanganende Wasser durchfließt hierbei eine mit manganspeichernden Algen besetzte Sandschicht von 1,4 m Mächtigkeit; die Resultate sollen hierbei recht gute

gewesen sein. Das Filter erfährt dabei dieselbe Behandlung wie ein Schnellfilter.

Hygienische Bewertung der Reinigungsverfahren.

Die Entwickelung der Wasserversorgung der letzten 20 Jahre zeigt eine bemerkenswerte Umstellung, in dem die noch vor wenigen Jahrzehnten unbestrittene Vorherrschaft der Grundwasserversorgung vielfach durch die Oberflächenwasserversorgung ersetzt zu werden beginnt. Das Beispiel dafür gab Amerika, wo es in der Tat nicht mehr möglich gewesen ist, den dauernd steigenden Wasserbedarf aus den vorhandenen Grundwasservorräten zu decken. Die Bevölkerungszunahme der Städte, zumal der Großstädte, hat nicht nur die selbstverständliche absolute Zunahme des Wasserverbrauchs zur Folge gehabt, sondern die auf den einzelnen Kopf zu rechnende Menge hat außerdem noch erheblich zugenommen. Von manchen amerikanischen Städten wird der Wasserverbrauch mit 300-400 Litern pro Kopf und Tag, ja bisweilen mit 500 Litern und mehr angegeben, Zahlen, die in Deutschland im industriereichen Ruhrgebiet hier und da auch schon erreicht wurden. Solche Wassermengen können ohne große Schwierigkeiten aus Flüssen, Seen oder Staubecken entnommen werden, denn diese vereinigen ja die Niederschlagswässer außerordentlich großer Gebiete; die übliche Rechnung lehrt, daß jeder Städter das Wasser eines Niederschlagsgebietes von etwa 275 m² Boden haben müßte, wenn sein Jahresbedarf an Grundwasser gedeckt sein soll; so sind die Flächen, die eine Großstadt an geeignetem Niederschlagsgebiet haben müßte, außerordentlich groß, gleichzeitig würde eine wesentliche Verteuerung des Wassers durch die langen Leitungen damit verbunden sein. Es wird daher vom Standpunkt der maßgeblichen wassertechnischen Stellen aus betrachtet, verständlich, wenn sie immer wieder an das billigere und leichter zu erhaltende Oberflächenwasser denken, und technische Maßnahmen ersinnen, um diesem Oberflächenwasser die Gefahren

für die Gesundheit zu nehmen. Die oben angeführten Verfahren geben eine kurze Übersicht über die großen Fortschritte in der Wasseraufbereitung der letzten zwei Jahrzehnte, die es ermöglichten, der Trinkwasserversorgung durch Oberflächenwasser den Weg zu ebnen und gegenüber der Versorgung durch Grundwasser mehr und mehr in den Vordergrund zu treten. Bei den neuzeitlichen Reinigungsverfahren sind die chemischen Fällungsmethoden das wichtigste Hilfsmittel geworden, und ihre Entwicklung ist in erster Linie dem Wasserchemiker zu verdanken.

So stellt sich uns in kurzen Zügen die Entwicklung der Wasserversorgung augenblicklich vom technischen und chemischen Standpunkt aus gesehen, dar. Der hygienische Standpunkt dazu unterscheidet sich aber in wesentlichen Punkten. Er liegt klar auf der Hand, denn im allgemeinen wird das Grundwasser den hygienischen Anforderungen besonders gut entsprechen, da es keimarm, erfrischend, kühl, geschmacklos, klar und blank ist und seiner Herkunft entsprechend appetitlich ist. Es drängt sich daher die Frage auf, ob es mit den modernen Reinigungsverfahren gelingt, ein Trinkwasser zu liefern, welches diesen Anforderungen in gleicher Weise genügt. Nach genauer Betrachtung der modernen Wasserreinigungsverfahren und vor allem ihrer kritischen Bewertung bezgl. der Leistung, ist diese Frage jedoch zu verneinen. Wenn es auch gelingt durch die Reinigungsverfahren ein Wasser von groben Verunreinigungen zu säubern und auch die Keimzahl auf ein erträgliches Mindestmaß herabzudrücken, so stellt doch das Resultat mehr oder weniger ein chemisches Produkt dar, das der wichtigen hygienischen Forderung der Appetitlichkeit nicht in erwünschtem Grade Rechnung zu tragen vermag. Gerade die großen Erfolge der Wasserreinigung führten in den letzten 20 Jahren zu der irrigen Ansicht, daß ein vom rein chemischen Standpunkt aus als einwandfrei bezeichnetes Wasser auch den hygienischen Anforderungen entspreche. Auf dieser irri-

gen Ansicht fußend gingen einige Autoren sogar soweit, daß sie behaupteten, aus Abwasser wieder einwandfreies Trinkwasser herstellen zu können. Beispielgebend waren die Amerikaner Wilson und Goudey, die der Stadt Los Angeles den Vorschlag machten, einen Teil des Trinkwasserbedarfs durch aufbereitetes Abwasser zu dekken, nachdem sie an Hand einer großen Versuchsanlage nachgewiesen hatten, daß man aus Abwasser unter Verwendung der modernsten wassertechnischen Errungenschaften brauchbares Trinkwasser herstellen könnte. Die beiden Autoren stützten sich vor allem auf die Tatsache, daß bereits seit längerer Zeit Flußwasser weitgehendst zur Trinkwassergewinnung Verwendung gefunden hat. Flußwasser ist aber oft nichts anderes als verdünntes Abwasser. Die eine Stadt läßt ihr Abwasser in den Fluß, und die darauf folgende Stadt benutzt das Wasser wieder als Trinkwasser. Man kann also von einem Kreislauf Trinkwasser — Abwasser — Trinkwasser sprechen, der sich in manchen Fällen mehrmals hintereinander wiederholt, ohne daß dadurch Nachteile zu entstehen brauchen. Beispiele sind der Ohio in Nordamerika, der Rhein, die Elbe und die Ruhr in Deutschland. Auch in Deutschland werden diese Gedankengänge vor allem von Imhoft und Sierp aufgegriffen. Sierp untersuchte u.a. die Frage, wie oft sich dieser Kreislauf wiederholen dürfe, da sich doch in dem Wasser verschiedene Stoffe wie z.B. Kochsalz anreichern, die durch keine künstlichen oder natürlichen Reinigungsverfahren herausgezogen werden können. Zur Kontrolle setzte er jeweils in das wiedergewonnene Reinwasser Fische ein; die Anlage erlebte nach dem fünften Kreislauf die erste Krise, da einige der Fische eingingen. Die Ursache war die Ansäuerung des Wassers durch ein Produkt der biologischen Reinigung, nämlich durch freie Salpertersäure. Als Ergebnis fand Sierp, daß es vom Standpunkt der Wasserreinigung gesehen, keine Bedenken gibt, städtisches Abwasser im Kreislauf bis zu zehn Mal zu reinigen und wieder zu verwenden;

weiterhin den Kreislauf zu wiederholen gelang nicht, da sonst die Geschmacksgrenze von Kochsalz im Wasser überschritten worden wäre.

Es fehlte naturgemäß nicht an Autoren, die sich ganz entschieden gegen diese Entwicklung wandten, an ihrer Spitze Neisser, als Schüler von Flügge, der als erster die hygienische Forderung der Appetitlichkeit des Wassers aufstellte. Flügge verwarf daher das Flußwasser gänzlich, denn er ging von dem Grundsatz aus, daß für die hygienische Beurteilung in erster Linie der Ursprung des Wassers maßgebend sei und nicht seine augenblickliche Beschaffenheit. Die gegenteilige Ansicht, die vor allem von Bruns und Imhoff vertreten wird, ist die, daß es nicht auf die Herkunft des Wassers ankomme, sondern nur darauf, ob die Wasserzubereitung so sei, daß die Laboratoriumsmethoden, einschließlich der Prüfung auf Geruch, Geschmack und Farbe keine Einwände gegen die Verwendung ergaben. Die beiden Autoren stehen auf dem Standpunkt, daß die Herkunft des Wassers, wofern sie sich nicht durch unsympatische Anzeichen verriete, an sich bedeutungslos sei, und sie führen für diese Anschauung die Natur selbst ins Feld, die doch selbst Jauche auf dem Weg durch den Erdboden zum schönsten Grund- und Quellwasser verwandle.

Diese Ansicht aber ist falsch und muß vom hygienischen Standpunkt als grundsätzlich unbegehbar und ein für allemal der Sperrung bedürftig bezeichnet werden. Die alte, bewährte und eigentlich ja selbstverständliche hygienische Forderung, daß für die Wasserversorgung nur das beste überhaupt erreichbare Wasser, und sei es auch unter erheblich wirtschaftlichen Opfern, herangezogen werden dürfe, muß unter allen Umständen aufrecht erhalten werden. Es ist ein gefährlicher Weg, ein in hygienisch kultureller Beziehung hochstehendes Volk wie das unsrige, bewußt an ein Aufgeben des Gefühls für Appetitlichkeit zu gewöhnen. Trinkwasser, als eines un-

serer wichtigsten Lebensmittel, darf seiner Herkunft nach nicht unappetitlich sein.

Dieser Grundsatz der Appetitlichkeit stellt nicht nur eine Forderung einzelner Hygieniker dar, sondern findet auch seine Bestätigung in der Rechtsprechung der höchsten Gerichte, die schon seit Jahrzehnten für Nahrungsmittel den Grundsatz vertreten, daß sie nicht ekelerregend sein dürfen. Der maßgebende Kommentar zum Lebensmittelgesetz vom 5. VII. 27 sagt hierzu: „Was beim Durchschnittsmenschen Ekel erregt, ist verdorben (§ 4 des Lebensmittelgesetzes). Ist dem betreffenden Nahrungsmittel das Verdorbensein nicht ohne weiteres anzumerken, so genügt auch die Erregung von Ekel beim Durchschnittsmenschen, wenn er die ekelerregenden Momente, die bei der Herstellung mitgespielt haben, erfährt." Nach diesem Reichsgerichtsentschluß gehören zu den Lebensmitteln nicht nur die eigentlichen Speisen und Getränke, sondern auch deren Rohstoffe und Vorerzeugnisse, die von Menschen erst genossen werden, nachdem sie zubereitet oder verarbeitet worden sind. Nach dem Lebensmittelgesetz ist es also eine selbstverständliche Forderung, daß ein so wichtiges Nahrungsmittel wie das Wasser, keinen Ekel erregen darf, wenn man seine Herkunft erfährt, es muß also — wie auch Flügge, Neisser und Abel verlangt haben — in jeder Beziehung appetitlich sein. Die Wiederverwendung von Abwasser zu Trinkwasser nach Aufbereitung im Sinne Imhoffs ist also gesetzwidrig.

Eine kritische Beurteilung der Oberflächenwässer und ihre Verwendung zu Wasserversorgungen unter dem Gesichtswinkel der Appetitlichkeit betrachtet, wird in sehr vielen Fällen zu einem ähnlichen Resultat führen, denn es gelingt ja mit den modernsten Reinigungsanlagen nur den momentanen Zustand zu ändern, nicht dagegen seine Herkunft. Und damit ist auch gleichzeitig der hygienische Wert der modernen Trinkwasserreinigungsverfahren ausgesprochen. Die günstigen Erfahrungen, die man am Rhein und im Ruhrgebiet mit der Chlorung gesammelt

hat, dürfen nicht als Empfehlung dienen, denn in diesen Gebieten herrscht ein Ausnahmezustand: Dichteste Besiedelung auf engstem Raum. Diese Umstände führten dazu, daß das als Notbehelf gedachte Chlorverfahren zu einer Dauereinrichtung geworden ist, um sonst unbrauchbares Wasser in Trinkwasser zu verwandeln. Daß das Chlorverfahren dazu verleitet, nicht mehr ganz so kritisch gegenüber den Bezugsquellen und der Art der Aufbereitung zu sein, liegt in der Einfachheit, der Billigkeit und der Anwendungsmöglichkeit der Chlorung begründet. Unter diesen Umständen ist es natürlich verlockend, ein infektionsverdächtiges Wasser allein durch billige Chlorung unschädlich zu machen und trinken zu lassen.

Eine solche Entwicklung kann jedoch nicht im Interesse der Volksgesundheit liegen und muß daher vom hygienischen Standpunkt als abwegig bezeichnet werden. Es muß mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, daß man sich auf die Chlorung allein nicht verlassen darf, wie verschiedene Fehlschläge in der Praxis gezeigt haben. So führte das Versagen der Chlorierungsanlage in Hannover zu einer schweren Typhusepidemie. Weiterhin zeigte es sich, daß der Chlorierungseffekt im Winter ein recht mangelhafter sein kann, da bei einer Wärme des filtrierten Wassers unter 8 Grad Celsius das Chlor als Chlorhydrat in Form von hellen Kristallen ausfällt, und in diesem Zustand keine genügende Entkeimungskraft mehr entfalten kann. Daß unter diesen Umständen die Gefahr einer Epidemie außerordentlich groß ist, zumal nicht fest steht, ob bei ungünstigen Verhältnissen die Keimzahl nicht noch wesentlich höher ist, ist einleuchtend. Einen wertvollen Hinweis auf die entkeimende Wirkung chlorierter Wässer gibt noch eine Arbeit von Remy, der an Badewässern die bakterizide Wirkung des aktiven Chlors untersuchte. Er fand als Resultat, daß wohl bei einer schon nach 48 bis 72 Stunden abgeschlossenen Beobachtung der Gelatineaussaaten Keimarmut oder Keimfreiheit vorgetäuscht wird, daß jedoch in den nächsten Tagen oft noch eine

recht erhebliche Entwicklung von Kolonien festzustellen war, zum Zeichen, daß die Keime nur geschädigt, aber nicht abgetötet waren. Auch bei nicht chloriertem Wasser sollte man daher das Ergebnis der Plattenaussaaten erst nach 5—6 Tagen (Zimmertemperatur) endgültig ablesen.

Diese neuesten Forschungsergebnisse lassen doch das Chlorverfahren, als das augenblicklich am besten ausgearbeitete Entkeimungsverfahren, in einem ganz anderen Licht erscheinen. Wenn auch viele Hygieniker anfänglich das Chlorverfahren als sicher wirkende Desinfektionsmaßnahme gegen infiziertes Trinkwasser begrüßten, so dürfen wir doch heute nach den bisher gemachten Erfahrungen den Wert dieses Verfahrens nicht überschätzen und ihm lediglich den Platz einer vorübergehenden Sicherheitsmaßnahme einräumen, aber niemals, außer bei absoluter Notlage, ein Dauerverfahren zur Beschaffung einwandfreien Trinkwassers daraus machen. Diese Ansicht ist um so berechtigter, wenn man berücksichtigt, daß allein die einwandfreie Bedienung nicht nur der Chlorgasanlagen, sondern auch der anderen gebräuchlichen, oft noch komplizierteren Entkeimungsanlagen, bereits eine große Schwierigkeit bedeutet. Nicht genügend beaufsichtigte Anlagen schaffen eine Scheinsicherheit, was sowohl in Amerika, dem klassischen Land der Trinkwassergewinnung aus Oberflächenwasser, als auch in Deutschland zu schweren Epidemien Anlaß gegeben hat. Es wird sich daher der moderne hygienische Standpunkt in der Trinkwasserfrage nicht mit der Einführung der modernen Trinkwasserreinigungsverfahren decken, sondern von der Erkenntnis geleitet, daß sowohl Mensch wie Maschine aus der Trinkwassergewinnung nach Möglichkeit auszuschalten sind, da sie nur eine relative Sicherheit bieten, mehr und mehr wieder von der Oberflächenwasserversorgung zur Grundwasserversorgung überzugehen, wodurch sich die Verwendung komplizierter Reinigungsverfahren in den meisten Fällen erübrigt.

Lange Zeit herrschte in Deutschland die Auffassung, daß die Grundwasservorräte nicht ergiebig genug wären, um den erhöhten Trinkwasserbedarf vor allem der Großstädte zu decken. Erst die hydrologische Wissenschaft, die sich mit dem Auftreten von Grundwasser und seiner Ergiebigkeit befaßt, konnte eine Wendung in dieser Anschauung herbeiführen. So konnten die Hydrologen feststellen, daß gerade Deutschland von der Natur mit Grundwasserströmen von ungewohnter Ergiebigkeit geradezu verschwenderisch ausgestattet sei. Im Hinblick auf diese wichtigen hydrologischen Forschungsergebnisse besteht nicht die geringste Veranlassung, wegen Grundwassermangels sich einem Wasser anderer Herkunft zuzuwenden. Es muß daher in Zukunft bei der Auswahl des Wassers für Versorgungszwecke ein enges Zusammenarbeiten des Hygienikers mit dem Hydrologen gefordert werden, um in der, vom Standpunkt der Volksgesundheit, so außerordentlich wichtigen Frage der Wasserversorgung die richtige Lösung zu finden.

Zusammenfassung.

Das Grundwasser ist der edelste Stoff, den uns die Natur in ausreichender Menge für Trinkzwecke bietet. Es entspricht den eingangs erwähnten hygienischen Anforderungen besonders gut, da es im allgemeinen frei von Keimen, erfrischend, kühl, geschmacklos, klar und seiner Herkunft entsprechend appetitlich ist. Eisen- und Mangansalze lassen sich in den meisten Fällen auf praktisch einfache und billige Weise entfernen, wenn es aus hygienischen oder technischen Gründen erforderlich ist.

Dem gegenüber dürfte es niemals gelingen, einem Oberflächenwasser, selbst bei Anwendung modernster Reinigungsverfahren, die gleichen günstigen Eigenschaften wie einem echten Grundwasser zu verleihen. Nicht Keimfreiheit allein macht ein Wasser zum Trinkwasser geeignet, auch Appetitlichkeit muß für dieses unentbehrliche Lebensmittel gefordert werden. Gegenüber dem Bestreben, durch chemische Behandlung aus Gründen der Billigkeit ein minderwertiges Wasser trinkbar zu machen, muß der Hygieniker an dem bewährten Grundsatz festhalten, daß für die Versorgung der Bevölkerung nur das beste hygienisch ganz einwandfreie Wasser herangezogen werden darf, selbst wenn die Beschaffung desselben erhebliche Opfer an Zeit und Geld erfordert.

— — —

Am Schluß meiner Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. med. A. Nißle meinen ganz ergebensten Dank auszusprechen für die freundliche Überlassung des Themas und für die Durchsicht der Arbeit.

Lebenslauf.

Am 5. Juli 1911 wurde ich als Sohn des Steindruckers Max Puffer und seiner Ehefrau Pauline geborene Birkner zu Landau in der Pfalz geboren und nach römisch-katholischem Ritus getauft und erzogen.

Meinen ersten Unterricht erhielt ich in Breslau, wo mein Vater inzwischen eine neue Stellung angenommen hatte. Bis zum 10. Lebensjahre besuchte ich dort die Volksschule. Im Jahre 1917 fiel mein Vater an der Westfront. Gemäß dem Wunsche des verstorbenen Vaters besuchte ich dann 1921—1922 die Oberrealschule zu Breslau. 1922 verehelichte sich meine Mutter mit Zollsekretär Albert Laenger in Freiburg im Breisgau. Dadurch wurde mir die weitere Ausbildung auf der Rotteck-Oberrealschule in Freiburg möglich, wo ich dann im Jahre 1930 die Schulzeit mit dem Abitur erfolgreich abschließen konnte. Hierauf wählte ich das Studium der Zahnheilkunde und absolvierte mein vorklinisches Studium in Freiburg, welches ich nach dem dritten Semester durch das Physikum beendete. Das erste klinische Semester besuchte ich gleichfalls in Freiburg, die beiden folgenden an der Universität Würzburg. Das 7. und letzte Semester absolvierte ich dann wieder in Freiburg, woselbst ich auch das Staatsexamen ablegte.

Literaturverzeichnis.

Abel: Neuzeitliche Wasserversorgung und Hygiene. Zeitschrift für Medizinalbeamte 1932, S. 312.

Adler: Die Reinigung und Sterilisierung des Wassers durch Hochchlorierung. Zentralblatt für Hygiene. 1930. S. 10.

Bach: Gegenwart und Zukunft der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung. Vom Wasser. Band 3, 1929. S 9.

Baylis: Geschmacks- und Geruchsbeseitigungsverfahren. Zentralblatt für Hygiene. Band 30. 1914. S. 461.

Sandfilterbeobachtungen in Baltimore. Zentralblatt für Hygiene. Band 8. 1924. S. 225.

Bechhold: Keimsichere Filter. Zentralblatt für Hygiene. Band 13. 1927. S. 88.

Beyreis: Trinkwasserbeschaffung und Abwasserbeseitigung. Zeitschrift für Medizinalbeamte. 1932. S. 300.

Billings: Diatomeen in den Filtern. Zentralblatt für Hygiene. Band 15. 1927. S. 680.

Bruns: Grundwasser oder Oberflächenwasser? Hygienische Gesichtspunkte zu der Frage. Vom Wasser. Band 4. 1930. S. 82.

Coy: Ausflockungsversuche mit schwefelsaurer Tonerde ausgeführt zu Reading in Pensylvanien. Zentralblatt für Hygiene. Band 9. 1925. S. 213.

Diénert et Wandenbulke: Untersuchungen über den Geschmack phenolhaltigen gechlorten Wassers. Zentralblatt für Hygiene. Band 20. 1929. S. 662.

Diénert et Etrillard: Über das Wesen der Wasserstrilisierung durch Chlor. Zentralblatt für Hygiene. Band 20. 1929. S. 196.

Dornedden: Wasserversorgung der deutschen Gemeinden mit 15 000 und mehr Einwohnern. Zeitschrift für Medizinalbeamte 1933. S. 34.

Beiträge zur Trinkwasserreinigung durch die langsame Sandfiltration. Zentralblatt für Hygiene. Band 23. 1931. S. 746.

Flu: Der Bakteriophag und die Selbstreinigung des Wassers. Zentralblatt für Hygiene. Band 4. 1923. S. 349.

Flügge: Grundriß der Hygiene. 1915.

Folpmers: Neue Erfahrungen bei der Entkeimung von Wasser durch Chlor und Chlorverbindungen. Vom Wasser. Band 5. 1931. S. 62.

Gonzenbach: Moderne hygienische Gesichtspunkte für Trinkwasserversorgung großer Gemeinden. Zentralblatt für Hygiene. Band 7. 1924. S. 453.

Groß: Handbuch der Wasserversorgung. 1928.

Haupt: Fortschritte in der Reinigung von Oberflächenwasser. Vom Wasser. Band 2. 1928. S. 15.

— Vorzüge und Nachteile der Trink- und Brauchwasserversorgung mit Oberflächenwasser. Vom Wasser. Band 4. 1930. S. 64.

Hetzel: Der Chlorphenolgeschmack des Trinkwassers, seine Entstehung und Beseitigung. Gesundheits-Ingenieur. Jahrgang 1931.

Huff: Algen in Wasserbehältern. Zentralblatt für Hygiene. Band 14. 1927. S. 27.

Imbeaux: Das derzeitige amerikanische Verfahren der Trinkwasserentkeimung (Chlorierung mit vorausgeschicktem Ammoniakzusatz). Zentralblatt für Hygiene. Band 27. 1932. S. 459.

Imhoff: Die Wiederverwertung von städtischem Abwasser. Gesundheits-Ingenieur, Jahrgang 1931. S. 690.

Jaenicke: Die Untersuchung und Bewertung von aktiven Kohlen im Hinblick auf ihre Verwendung zur Wasserreinigung. Vom Wasser. Band V. 1931. S. 83.

Keim: Über Algen im Filterbetrieb und ihrem Einfluß auf die Sauerstoffbilanz. Zentralblatt für Hygiene. Band 17. 1928. S. 732.

Koschkin: Die Bedeutung des Ammoniaks für das Chlorbindungsvermögen des Wassers. Zeitschrift für Hygiene. Band 115. 1933. S. 99.

Krause: Neue Wege zur Wassersterilisation (Katadyn, oligodynamische Wirkung von Silber). Zentralblatt für Hygiene. Band 20. 1929. S. 11.

— Oligodynamische Wassersterilisierung durch Katadyn-Silber. Zentralblatt für Hygiene. Band 21. 1930. S. 772.

Kyriasides: Versuche über die Bedeutung der Protozoen für die Selbstreinigung des Wassers. Zentralblatt für Hygiene. Band 25. 1931. S. 724.

Lührig: Natürlicher und künstlicher schwarzer Sand als Entmanganungsmaterial für Wasser. Zentralblatt für Hygiene. Band 17. 1928. S. 187.

Neißer: Neuere Fragen der Wasserhygiene. Münchner Medizinische Wochenschrift 1935. I. S. 268.

Olszewski: Die Desinfektion von Wasser mit Silbersalzen sowie mit Katadyn-Silber. Vom Wasser. Band 3. 1929. S. 91.

— Olszewski: Einige moderne Entmanganungsverfahren. Vom Wasser. Band I. 1927. S 21.

Ornstein: Erfahrungen mit dem Chlorgasverfahren in der Wasserbehandlung. Vom Wasser. Band I. 1927. S. 27.

— Chlorgasanwendung für Wasserbehandlung in Amerika. Vom Wasser. Band 2. 1928. S. 41.

Remy: Zur Frage der hygienischen Beurteilung chlorierter Badewässer. Archiv für Hygiene und Bakteriologie. Band 112. Heft 1. 1934.

Romwalter: Die bakterizide Wirkung des Chlors im Wasser. Zentralblatt für Hygiene. Band 16. 1926. S. 692.

Rubner — Gruber — Fischer: Handbuch der Hygiene. 2. Band. 2. Abteilung. Wasser und Abwasser. 1911.

Schütz: Chlordesinfektion und ihre Kontrolle. Zentralblatt für Hygiene. Band 16. 1928. S. 335.

Sierp: Die Anwendung der aktiven Kohle in der Trinkwasserversorgung. Gesundheits-Ingenieur, Jahrgang 1931. S. 566.

— Verbesserung des Geruchs und Geschmacks von Trinkwasser (Phenole). Zentralblatt für Hygiene. Band 20. 1929. S. 660.

Smit: Zur Bewertung der Coli-Befunde im Trinkwasser. Vom Wasser. Band 2. 1928. S. 83.

Pitta: Grenzen der hygienischen Anforderungen in der öffentlichen Gesundheitspflege. Zeitschrift für Medizinalbeamte. 1933. S. 592.

Steinmann: Die Wasserentgasung der Gegenwart. Zentralblatt für Hygiene. Band 14. 1927. S. 23.

Streeter: Experimentelle Untersuchungen über Wasserreinigung. Einwirkung der Koagulation. Zentralblatt für Hygiene. Band 23. 1931. S. 747.

Streeter and Wright: Experimentelle Untersuchungen über die Reinigung von Wasser. Bedeutung der Verchlorung für den Filtrationseffekt. Zentralblatt für Hygiene. Band 25. 1931. S. 401.

Thiem: Einwandfreies Trinkwasser. Zentralblatt für Hygiene. Band 15. 1927. S. 488.

— Grundwasser im Wandel der Zeiten. Vom Wasser. Band 4. 1930. S. 52.

Tillmanns: Grundwasser — Oberflächenwasser. Vom Wasser. Band 4. 1930. S. 51.

— Über den heutigen Stand der Trinkwasserentsäuerung. Vom Wasser. Band III. 1930. S. 13.

Vagedes: Wie steht es um die Colifrage? Gesundheits-Ingenieur. 1931.

Zintel: Einführung in das Studium der anorganischen Chemie. 1923.